

Beschreibung

Vorrichtung zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden Hochspannungsleitung

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden aus mehreren Phasen bestehenden Hochspannungsleitung mit wenigstens einer in Reihenschaltung in die Hochspannungsleitung einfügaren Regel-
10 spule und mit wenigstens einer jeweils einer der Regelspulen zugeordneten Schalteinrichtung, wobei eine Steuerungseinheit zum Steuern jeder Schalteinrichtung auf eine Weise vorgesehen sind, dass durch das Schalten der Schalteinrichtung die in der Vorrichtung wirkende Reaktanz der Regelspule einstellbar
15 ist.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren und eine Steuerungseinheit zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden Hochspannungsleitung.

20

Eine solche Vorrichtung, ein solches Verfahren und eine solche Steuerungseinheit sind beispielsweise aus der DE 37 87 335 T2 bekannt. Die dort offbare Vorrichtung ist ferner in Figur 1 der beigefügten Zeichnung verdeutlicht. Die vorbekannte Vorrichtung 1 weist eine Regelspule 2 und eine nicht geregelte Spule 6 auf, die durch zweckmäßige in Figur 1 nicht gezeigte Anschlüsse oder Schalter in Reihe in eine Wechselstrom führende Hochspannungsleitung einfügbar ist. Zum Regeln der in der Vorrichtung 8 wirkenden Impedanz der Regelspule 2 ist eine Schalteinrichtung 3 vorgesehen, die durch zwei gegensinnig geschaltete Thyristoren realisiert ist. Die Thyristoren sind mit einer Steuerungseinheit 4 verbunden, durch deren Steuerungssignale der Stromfluss über die Thy-

2

ristoren unterbrochen beziehungsweise ermöglicht wird. Durch zweckmäßige Wahl des Zeitpunktes zur Zündung der Thyristoren in Abhängigkeit der Phase eines Wechselstromes in der Hochspannungsleitung ist die in der Vorrichtung wirksame Impedanz

5 der Regelspule 2 und somit die Impedanz der gesamten Vorrichtung einstellbar. Dieser von der Phase des Wechselstromes abhängige Ansprechzeitpunkt der Thyristoren wird im Folgenden als Zündwinkel bezeichnet. Durch die statische Stromunterbrechung des Wechselstromes durch die Thyristoren des Regelungszweiges 5 werden auch höhere Ordnungen, also ganzzahlige
10 Vielfache der Grundschwingung des Wechselstromes erzeugt. Aus diesem Grund ist parallel zum Regelungszweig 5 eine Filtereinheit 7 vorgesehen, die zum Unterdrücken einer oder mehreren dieser harmonischen Schwingungsanteile eingerichtet ist.

15 Darüber hinaus dienen die Filtereinheit und die Filterspule 6 zum Erhalt des Stromweges durch die Vorrichtung, wenn sich die Schalteinrichtung 3 in einer den Stromfluss unterbrechenden Stellung befindet. Durch diese zusätzlichen Komponenten ist die vorbekannte Vorrichtung jedoch raumgreifend und kostenintensiv. Darüber hinaus sind die Regelungsmöglichkeiten
20 der vorbekannten Vorrichtung begrenzt, da deren Impedanz nicht auf Null sondern lediglich auf die Impedanz der parallel geschalteten Spulen 2 und 6 heruntergefahren werden kann.

25

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art bereit zu stellen, die kompakt und kostengünstig ist, sowie ein eingangs genanntes Verfahren sowie eine Steuerungseinheit bereitzustellen, mit
30 der die Impedanz einer Hochspannungsleitung auf einfache Art und Weise gesteuert werden kann.

Die Erfindung löst diese Aufgabe hinsichtlich der Vorrichtung dadurch, dass jede Schalteinrichtung parallel zu der ihr zugeordneten Regelspule in einem Parallelzweig angeordnet ist.

5 Die Erfindung löst diese Aufgabe weiterhin mit einem Verfahren, bei dem durch Auslösen einer Schalteinrichtung, die parallel zu einer in Reihe in die Hochspannungsleitung einfügbaren Regelspule in einem Parallelzweig angeordnet ist, die Regelspule in Abhängigkeit der Phase des Wechselstroms über-

10 brückt und auf diese Weise die Impedanz der Hochspannungsleitung eingestellt wird.

Die Erfindung löst die Aufgabe ferner durch eine Steuerungseinheit zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden Hochspannungsleitung mit einem Phasengeber zum Erzeugen eines Nulldurchgangssignals bei Nachweis eines Nulldurchgangs des Wechselstroms und wenigstens einer Auslöseeinheit, die mit dem Phasenmesser sowie mit einem Zündwinkelgeber zum Bereitstellen eines Zündwinkels für die Auslöseeinheit verbunden ist und die bei Erhalt eines Nulldurchgangssignals nach einer dem Zündsignal entsprechenden Verzögerungszeit ein Auslöseseignal erzeugt, das zum Regeln der Impedanz der Hochspannungsleitung durch Überbrücken einer in Reihe in die Hochspannungsleitung eingefügten Regelspule mittels einer Schalteinrichtung dient.

Erfindungsgemäß ist die Regelungsspule nicht mehr wie im Stand der Technik in Reihenschaltung zur Schalteinrichtung angeordnet. Vielmehr ist die Regelungsspule durch die Schalteinrichtung überbrückbar, womit ein gegenüber dem Stand der Technik abweichendes erfindungsgemäßes Regelungsverfahren verknüpft ist. Durch die erfindungsgemäße Schaltanordnung ist es ferner möglich, auf zusätzliche, nicht geregelte Spulen

oder Filtereinheiten nahezu vollständig zu verzichten. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Regelspule im Sinne der Erfindung nicht als ein einziges Bauteil realisiert sein muss. Vielmehr ist es erfindungsgemäß auch möglich, mehrere Spulen 5 in dem jeweiligen Parallelzweig in Reihe zu schalten. In diesem Fall ist unter dem Begriff "Regelsspule" die Summe aller Spulen in den Parallelzweig zu verstehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Steuerung der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dabei wird das erfindungsgemäße 10 Verfahren bevorzugt mittels der erfindungsgemäßen Steuerungseinheit angewendet.

Vorteilhafterweise weist die erfindungsgemäße Vorrichtung einen Parallelzweig auf, der frei von induktiven Bauteilen wie Spulen oder dergleichen ist auch wenn diese lediglich zur Unterdrückung von transienten Effekten vorgesehen sind und keinen Einfluss auf die Regelungscharakteristik nehmen. 15

Als Schalteinheit kommt beispielsweise ein schneller mechanischer Schalter in Betracht. Zweckmäßigerweise besteht jedoch wenigstens eine Schalteinrichtung aus gegensinnig geschalteten Thyristoren. Durch die Verwendung von Thyristoren sind die Regelungsmöglichkeiten der Impedanz durch die Steuerungseinheit verbessert. Die Thyristoren werden erfindungsgemäß beispielsweise als schneller Schalter eingesetzt. Ihr Schaltverhalten ist über sogenannte elektrische oder optische Zündsignale und somit auf besonders einfache Weise an die jeweils erforderlichen Umstände anpassbar. Als Thyristoren eignen 25 sich alle bislang bekannten hochspannungstauglichen Halbleiterbauteile auf Silizium oder aber auch Carbid-Basis. Beispiele geeigneter Silizium-Thyristoren umfassen elektrisch 30

gezündete Thyristoren, optisch gezündete Thyristoren, sogenannte GTO's aber auch IGBT's.

Vorteilhafterweise weist die Steuerungseinheit eine mit Stromgebern verbundene Nulldurchgangseinheit zum Nachweis eines Nulldurchgangs des Wechselstromes und wenigstens eine mit einem Zündwinkelgeber verbundene Auslöseeinheit auf. So kann der Stromgeber beispielsweise ein digitale Stromwerte abgebender Stromgeber sein, der einen Stromwandler zum Erzeugen eines zum Wechselstrom proportionalen Sekundärstromes, eine Abtasteinrichtung zum Abtasten des Sekundärstromes in einem Abtasttakt unter Gewinnung von Stromwerten und einen Analog-Digital-Wandler zum Umwandeln der abgetasteten Stromwerte in digitale Stromwerte aufweist. Ein Vorzeichenwechsel der digitalen Stromwerte wird beispielsweise durch eine hierfür übliche Software der Nulldurchgangseinheit erkannt, die daraufhin einen Nulldurchgangssignal an die mit ihr in Verbindung stehende Auslöseeinheit sendet. Die Auslöseeinheit ist über den Zündwinkelgeber mit einem Zündwinkel versorgt. Dieser Zündwinkel entspricht einer Zeitdauer, nach der die Auslöseeinheit im Anschluss an einen Nulldurchgang des Wechselstroms ein Zündsignal zum Zünden der Thyristoren an diese sendet. Durch die Wahl des Zündwinkels ist somit eine beliebige Phasenverschiebung zwischen dem Nulldurchgang des Wechselstromes und der Stromüberbrückung durch die Thyristoren ermöglicht.

Bei einem von hier abweichenden Ausführungsbeispiel ist die Steuereinheit als analoge Steuereinheit mit diesbezüglich üblichen dem Fachmann bekannten Bauteilen realisiert.

Gemäß einer diesbezüglich zweckmäßigen Weiterentwicklung ist der Zündwinkelgeber mit einem Stromgeber zum Messen des Wechselstroms und mit einem Spannungsgeber zum Messen der Span-

nung der Hochspannungsleitung gegenüber dem Erdpotential oder der Spannungen zwischen den Phasen verbunden, wobei die Steuerungseinheit weiterhin über ein Festspeicherelement verfügt, das zur Aufnahme von Stellparametern vorgesehen ist, wobei wenigstens eine Abgleicheinheit zum Feststellen von Abweichungen zwischen den Stellparametern und den Messwerten des Stromgebers und/oder des Spannungsgebers oder zwischen den Stellparametern und Messgrößen, die aus den Messwerten des Strom- und/oder Spannungsgebers berechnet sind, vorgesehen ist. Mit anderen Worten ist jede Abgleicheinheit mit einem oder mehreren Sollwerten versehen, die beispielsweise einem Sollstromwert, einem Sollspannungswert oder beispielsweise einem aus diesen beiden elektrischen Größen berechneten Sollwert einer Wirk- oder Blindleistung entsprechen. Stellt die jeweilige Abgleicheinheit eine den Toleranzbereich überschreitende Differenz zwischen den jeweils gemessenen Ist- und Sollwerten oder zwischen den aus den gemessenen Größen berechneten Istwerten und den Sollwerten fest, bewirkt sie eine Verschiebung des Zündwinkels in eine solche Richtung, dass die Abweichung zwischen dem Ist- und dem Sollwert wieder in den Toleranzbereich hinein verschoben wird. Der Toleranzbereich ist von der jeweiligen Anwendung der Vorrichtung abhängig und beträgt typischerweise 1 % bezogen auf den jeweiligen Sollparameter.

25

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterentwicklung ist die erfundungsgemäße Vorrichtung mit zwei in Reihe angeordneten Regelspulen versehen, die jeweils eine in einem Parallelzweig angeordnete Schalteinrichtung in einer Parallelschaltung aufweisen. Gemäß dieser vorteilhaften Weiterentwicklung ist es möglich, im Vergleich zu Vorrichtungen mit einer überbrückbaren Regelspule weniger raumgreifende Hochspannungsbauteile zur Ausbildung der Gesamtvorrichtung einzusetzen. Weiterhin

wird der harmonische Anteil der an der Vorrichtung abfallenden Spannung im Vergleich zu einer Vorrichtung mit lediglich einer regelbaren Reaktanz herabgesetzt.

5 Gemäß einer diesbezüglichen zweckmäßigen Weiterentwicklung weist die Steuerungseinheit zwei Auslöseeinheiten auf, die jeweils mit einer Schalteinrichtung zusammenwirken. Die Steuerungseinheit ist ferner mit zwei unterschiedlichen Zündwinkeleibern verbunden, so dass die Zündung der Schalteinrich-
10 tungen zeitlich unabhängig voneinander regelbar ist.

Bei dieser Ausgestaltung ist eine Weiterentwicklung dahin möglich, dass lediglich eine der Schalteinrichtungen gegenseitig geschaltete Thyristoren aufweist, wobei die andere
15 Schalteinrichtung als mechanischer Schalter realisiert ist. Auf diese Weise werden die Regelungsmöglichkeiten der Vorrichtung zwar herabgesetzt. Eine solche Variante ist jedoch kostengünstig und hinsichtlich der Steuerungsmöglichkeit vereinfacht.

20 Vorteilhafterweise ist ein in Reihe zur Regelspule geschalteter Kondensator vorgesehen, der mittels einer parallel zum Kondensator in einem Kondensatorparallelzweig angeordneten Kondensatorschalteinheit überbrückbar ist. Durch den Zusatz
25 eines Kondensators in Reihenschaltung wird der durch die Vorrichtung regelbare Bereich der Impedanz beträchtlich vergrößert. Gemäß dieser vorteilhaften Weiterentwicklung der Erfindung sind zwei regelbare Reaktanzbereiche bereitgestellt, wobei jedoch lediglich eine gemeinsame Steuerung zum Regeln der
30 Gesamtimpedanz erforderlich ist. Selbstverständlich ist die Reihenanordnung von regelbaren Reaktanzen auch durch weitere solcher in Reihenschaltung angeordnete Module erweiterbar.

Gemäß einer diesbezüglichen zweckmäßigen Weiterentwicklung ist eine Filtereinheit vorgesehen, die parallel zu einem die Regelspule und den Kondensator in Reihenschaltung aufweisenden Reihenzweig angeordnet. Die Filtereinheiten können nur 5 dann eingesetzt werden, wenn neben wenigstens einer Regelspule auch ein Kondensator oder eine Spule in der überbrückten Reihenschaltung vorgesehen ist.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterentwicklung der erfindungsgemäßen Steuerungseinheit ist wenigstens einer der Schalteinrichtungen durch gegensinnig geschaltete Thyristoren realisiert. Selbstverständlich können auch alle Schalteinrichtungen aus gegensinnig geschalteten Thyristoren bestehen.

15 Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung unter Bezug auf die Figuren der Zeichnung, wobei gleich wirkende Bauteile mit gleichen Bezugszeichen versehen sind und wobei
20

Figur 1 eine gattungsgemäße Vorrichtung gemäß dem Stand der Technik zeigt,

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt,

25 Figur 3 die Wirkungsweise der Vorrichtung gemäß Figur 2 anhand zeitlich aufgelöster Strom- oder Spannungskurven schematisch verdeutlicht,

Figur 4 die Reaktanz der Vorrichtung gemäß Figur 2 bezogen auf die Reaktanz der Regelspule in Abhängigkeit des
30 Zündwinkels zeigt,

Figur 5 die an der Vorrichtung abfallende Grundschwingungs-
komponente der Spannung bei verschiedenen Zündwin-
keln zeigt,

5 Figur 6 eine digitale Simulation des sich ändernden Leis-
tungsflusses in der Hochspannungsleitung bei Verän-
derung des Zündwinkels der Schaltungseinrichtung
der Vorrichtung gemäß Figur 2 zeigt,

10 Figur 7 die Anteile der Grundschwingung und der höheren
harmonischen Schwingungen der Spannung, die an der
Vorrichtung gemäß Figur 2 bei konstantem Wechsel-
strom abfällt, in Abhängigkeit des Zündwinkels
zeigt,

Figur 8 eine die Steuerungseinheit der Vorrichtung gemäß
Figur 2 verdeutlichende Darstellung zeigt,

15 Figur 9 eine genauere Darstellung der Steuerungseinheit ge-
mäß Figur 8 zeigt,

Figuren 10 und Figur 11 Kennlinien der Steuerungseinheit ge-
mäß Figur 9 zeigen,

20 Figur 12 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsge-
mäßen Vorrichtung zeigt,

Figur 13 die Steuerungsmittel einer Vorrichtung gemäß Figur
12 verdeutlicht,

25 Figur 14 berechnete Spannungsverläufe der Grund- und der
harmonischen Spannungskomponenten in Abhängigkeit
des Zündwinkels einer Vorrichtung gemäß Figur 13
zeigt,

Figur 15 Kennlinien der Steuerungseinheit gemäß Figur 13
verdeutlicht,

Figuren 16 und 17 von Figur 15 abweichende Kennlinien

10

einer Steuerungseinheit für eine Vorrichtung gemäß Figur 13 zeigen,

Figur 18 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt,

5 Figur 19 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt,

Figur 20 ein die Steuerung der Vorrichtung gemäß Figur 19 verdeutlichtende Darstellung zeigt,

10 Figuren 21 bis 23 Kennlinien der Steuerungseinheit gemäß Figur 20 verdeutlichen und

Figur 24 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt.

Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8, die über in Figur 2 nicht erkennbare Schalter in eine Hochspannungsleitung 9 einfügbar ist, die zur Übertragung einer Leistung zwischen zwei Knoten eines elektrischen Energieverteilungsnetzes vorgesehen ist. Dabei ist die Vorrichtung 8 in Reihe in der Hochspannungsleitung 9 also so angeordnet, dass der gesamte durch die Hochspannungsleitung 9 geführte Wechselstrom über die Vorrichtung 8 fließt. Die Hochspannungsleitung besteht wie üblich aus drei Phasen also drei nebeneinander geführten Hochspannungsleitern, von denen aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Figuren der Zeichnung nur eine Phase verdeutlicht ist. Die anderen, nicht gezeigten Phasen der Hochspannungsleitung 9 sind auf die gleiche Art und Weise wie die in den Figuren der Zeichnung verdeutlichte Phase mit der Vorrichtung 8 verbunden. Entsprechend ist die Einrichtung 8 selbstverständlich mit einer Hochspannungsleitung verbindbar, die mehr als drei Phasen oder weniger als drei Phasen aufweist.

11

Die Vorrichtung 8 umfasst eine Regelspule 2 sowie eine Schalteinrichtung 3, die hier durch zwei gegensinnig geschaltete Thyristoren 10 realisiert ist. Dabei ist die Schalteinrichtung 3 parallel zur Regelspule 2 in dem Parallelzweig 5 angeordnet.

Die Thyristoren 10 sind über zweckmäßige Steuerleitungen 11 jeweils mit einer Steuerungseinheit 4 verbunden, die zum Erzeugen eines Zündsignals in Abhängigkeit der Phase des Wechselstromes in der Hochspannungsleitung 9 eingerichtet ist.

Figur 3 verdeutlicht die Wirkungsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 gemäß Figur 2 anhand zeitaufgelöster schematischer Strom- beziehungsweise Spannungskurven. In Figur 3a sind zwei Schwingungsperioden eines idealisierten sinusförmigen Wechselstromes I_{Leit} in der Hochspannungsleitung 9 gezeigt, wobei die Amplitude des Wechselstromes 1,5 kA beträgt. Zum Zeitpunkt t_0 befinden sich die Thyristoren 10 der Schalteinrichtung 3 in einer Sperrstellung, so dass der in Figur 3b dargestellte über die Regelspule 2 geführte Strom demjenigen des Wechselstromes der Hochspannungsleitung 9 im Wesentlichen entspricht. Der über den Parallelzweig 5 geführte Strom ist in Figur 3c verdeutlicht. Dieser ist im Zeitpunkt t_0 folglich gleich Null.

25

Wird der durch α in Figur 3 verdeutlichte Zeitpunkt erreicht, erfolgt die Zündung der Thyristoren 10 der Schalteinrichtung 3 durch die Steuerungseinheit 4. Durch die Selbstinduktion der Spule bleibt der in Figur 3b gezeigte Spulenstrom im Wesentlichen konstant. Der in Figur 3c gezeigte über den Parallelzweig 5 geführte Strom erreicht im Scheitelpunkt des Wechselstromes ebenfalls ein relatives Minimum. In dem mit β verdeutlichten Zeitpunkt wird der über den Parallelzweig und

12

somit über die Schalteinrichtung 3 mit den Thyristoren 10 geführte Strom gleich Null, wodurch die Thyristoren 10 erneut in die Sperrstellung überführt werden. Ab diesem Zeitpunkt entspricht der über die Regelspule 2 geführte Strom wieder dem Wechselstrom der Hochspannungsleitung 9. Dieser Vorgang wiederholt sich anschließend - diesmal jedoch im positiven Bereich des Wechselstromes, also bei umgekehrten Vorzeichen des Wechselstromes.

10 In Figur 3d ist die an der Schalteinrichtung 3 abfallende Spannung verdeutlicht. Deren Betrag ist im Zeitpunkt t_0 maximal und entspricht dem Betrag von etwa -40 kV. Im Zeitpunkt α kommt es zur Zündung der Thyristoren 10, woraufhin die Spannung auf einen Nullwert abfällt, um im Zeitpunkt 15 β auf +28 kV anzusteigen.

Figur 3e zeigt das Ergebnis der Berechnung der Grundschwingungskomponente der an der Vorrichtung 8 insgesamt abfallenden Spannung. Es wird erkennbar, dass der Grundschwingungsanteil der Spannung gegenüber dem in Figur 3a gezeigten Strom um +90 Grad phasenverschoben ist. Wie nachfolgend ausgeführt werden wird, ist die Amplitude des Grundschwingungsanteils vom Zündwinkel α abhängig. Aus diesem Grunde wirkt die Vorrichtung 8 wie eine regelbare Reaktanz.

25 Im Zeitraum zwischen dem ersten Zünden der Thyristoren α und der nachfolgenden Unterbrechung des Stromes durch die Thyristoren $\pi - \alpha$, also β ist die an der Zündvorrichtung 8 abfallende Spannung, wie in Figur 3d erkennbar, gleich Null. Im 30 Sperrzustand der Thyristoren 10, hängt die abfallende Spannung $V(t)$ von der Änderung des Stromes sowie der Induktivität der Regelspule ab. Es gilt

$$V(t) = 0 \quad \text{für } \alpha < \omega t < (\pi - \alpha)$$

$$V(t) = L_{RSP} \frac{d(I_{Leit})}{dt}. \quad \text{für } (\pi - \alpha) < \omega t < (\pi + \alpha),$$

5 wobei I_{Leit} dem Wechselstrom in der Hochspannungsleitung 9 und L_{RSP} der Induktivität der Regelspule entspricht. α steht für den Zündwinkel im Bogenmaß und ω – ebenfalls im Bogenmaß – für die Winkelgeschwindigkeit. Mit $I_{Leit} = I_0 \sin(\omega t)$ ergibt sich

10

$$V(t) = L_{RSP} \omega I_0 \cos(\omega t) \quad \text{für } (\pi - \alpha) < \omega t < (\pi + \alpha)$$

Die Grundschwingungskomponente von $V(t)$ kann unter Anwendung
15 von Fourier-Techniken berechnet werden. Hierbei wird nähe-
rungsweise davon ausgegangen, dass die Resistenz der Vorrich-
tung gleich Null ist. Daher ist nur der Schwingungsanteil,
der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung von Interesse,
20 der gleichphasig mit $\cos(\omega t)$ ist. Wie in Figur 3 gezeigt,
sind die positiven und negativen Halbzyklen der an der Vor-
richtung abfallenden Spannung symmetrisch. Daher ist die Grö-
ße des Anteils der Grundschwingung der an der Vorrichtung 8
abfallenden Spannung V_{SUM} gegeben durch

$$25 \quad V_{SUM} = \frac{2}{\pi} \cdot \int_{\pi-\alpha}^{\pi+\alpha} V(t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot d(\omega \cdot t)$$

$$= \frac{2}{\pi} \cdot I_0 \cdot \omega \cdot L_{RSP} \cdot \int_{\pi-\alpha}^{\pi+\alpha} \cos^2(\omega \cdot t) \cdot d(\omega \cdot t)$$

$$= \frac{2}{\pi} \cdot I_0 \cdot \omega \cdot L_{RSP} \cdot \left(\alpha + \frac{\sin(2 \cdot \alpha)}{2} \right)^{14}$$

für α zwischen 0 und 90 Grad.

5 Somit ergibt sich die Reaktanz bei der Grundschwingung gemäß

$$\frac{X_{SUM}}{X_{RSP}} = \frac{2}{\pi} \cdot \left(\alpha + \frac{\sin(2 \cdot \alpha)}{2} \right)$$

Figur 4 zeigt die auf die Reaktanz der Regelspule 2 X_{RSP} normierte Reaktanz der Vorrichtung 8 X_{SUM} in Abhängigkeit verschiedener Zündwinkel α , die in Figur 4 in der Einheit des Bogenmaßes angegeben ist. Es ist erkennbar, dass die Impedanz der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 bei Zündwinkeln im Bereich von 0 Grad zu vernachlässigen ist, während diese bei 10 Zündwinkeln größer als 70 Grad sich asymptotisch dem Höchstwert nähert, der von der Reaktanz der Regelspule X_{RSP} bestimmt 15 ist.

Figur 5 zeigt die an der Vorrichtung 8 abfallende Gesamtspannung V_{SUM} , wobei der Funktionsverlauf durch viereckige Punkte gekennzeichnet ist. Weiterhin ist in Figur 5 der anhand eines vereinfachten Modells berechnete Grundschwingungsanteil der Spannung in einer Kurve V_G verdeutlicht, die mit runden Punkten gekennzeichnet ist. Bei der Berechnung wurde von einem 20 idealen sinusförmigen Wechselstrom mit einer Amplitude von 1,5 kA ausgegangen, wobei die Regelspule 2 eine Induktivität von 80 Milli-Henry aufwies. In Figur 5a sind die Spannungsverläufe bei einem Zündwinkel α von 10° dargestellt. Dies bedeutet, dass bereits nach einer kurzen Zeitdauer im Anschluss an einen Nulldurchgang des Wechselstromes in der 25 Hochspannungsleitung 9 ein Steuerpuls für die Thyristoren 30 10

15

der Schalteinrichtung 3 ausgelöst wird, wodurch die Regelspule 2 überbrückt und die Spannung abgebaut wird.

Die Zündwinkel α der Figuren 5b, 5c, 5d und 5e betrugen 20,

5 30, 45 beziehungsweise 60° . Es ist erkennbar, dass die Amplitude der Grundschwingung mit größer werdendem Zündwinkel ansteigt und in Figur 5e der Verlauf der Grundschwingung dem Spannungsabfall der Vorrichtung 8 im Wesentlichen entspricht.

10 Figur 6 zeigt eine digitale Simulation auf der Grundlage desselben vereinfachten Modells, das auch der Figur 5 zu Grunde lag. Die gezeigten Ergebnisse basieren auf der Annahme einer Reaktanz einer Hochspannungsleitung von 45 Ohm bei 50 Hz, wo-
bei die Vorrichtung 8 mit einer Regelspule 2 von 80 Milli-

15 Henry bestückt ist. In Figur 6a ist der jeweils für die Rechnung gewählte Zündwinkel α im Bogenmaß in Abhängigkeit der Zeit in Sekunden aufgetragen, wobei α nach 0,2 sec noch 0 beträgt, und nach 0,8 sec auf 90 Grad angestiegen ist. Figur 6b zeigt wieder die an der Vorrichtung abfallende Spannung

20 V_{SUM} in Abhängigkeit der Zeit, deren Verlauf sich mit ansteigendem Zündwinkel mehr und mehr einem sinusförmigen Verlauf annähert. In Figur 6c ist der Wechselstrom der Hochspannungsleitung aufgetragen, dessen Amplitude mit anwachsendem Zündwinkel abnimmt. Figur 6d verdeutlicht die Wirkleistung P_w ,
25 die durch die Hochspannungsleitung transportiert wird und deren Betrag erwartungsgemäß mit größer werdenden Zündwinkeln α abnimmt.

In Figur 7 sind die Amplituden der Grundschwingung sowie der
30 höheren harmonischen Schwingungsanteile der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung bis zur 13. Harmonischen V_x bezogen auf die Amplitude der Gesamtspannung V_{SUM} , in Abhängigkeit

des Zündwinkels α gezeigt. Es ist erkennbar, dass die Amplitude Y der höheren Schwingungen bei größer werdenden Zündwinkeln kleiner wird und der Grundschwingungsanteil an der Gesamtspannung bei Zündwinkeln von 90 Grad nahezu 100 % beträgt.

Figur 8 zeigt die Vorrichtung 8 gemäß Figur 2, wobei jedoch die Steuerungseinheit 4 detaillierter dargestellt ist. Wie in Figur 8 erkennbar umfasst die Steuerungseinheit 4 einen Nulldurchgangsgeber 12 sowie eine Auslöseeinheit 13, wobei der Nulldurchgangsgeber 12 mit einem Stromgeber 14 verbunden ist. Der Stromgeber 14 seinerseits besteht beispielsweise aus einem nicht gezeigten Stromwandler, der einen dem Wechselstrom in der Hochspannungsleitung 9 proportionalen Sekundärstrom erzeugt, welcher von einer ebenfalls nicht gezeigten Abtasteinheit des Stromgebers 14 unter Gewinnung von Abtastwerten abgetastet und die Abtastwerte anschließend von einem nicht gezeigten Analog-Digital-Wandler in digitale Stromwerte I_{Leit} umgewandelt und dem Nulldurchgangsgeber 12 über eine Verbindungsleitung 15 zugeführt werden. Stellt der Nulldurchgangsgeber 12 einen Vorzeichenwechsel der digitalen Stromwerte I_{Leit} fest, sendet dieser Nulldurchgangspulse 16 an die Auslöseeinheit 13. Nach Erhalt der Nulldurchgangspulse 16 sendet die Auslöseeinheit 13 nach einer Verzögerungszeit α Auslösepulse 17 an die Thyristoren 10 der Schalteinrichtung 3, die daraufhin von einer Sperrstellung, in der ein über den Parallelzweig 10 geführter Strom unterbrochen ist, in eine Durchlassstellung überführt werden, in der ein Stromfluss über den Parallelzweig 5 ermöglicht ist. Die Verzögerungszeit, mit der die Auslöseeinheit 13 die Abgabe der Auslösepulse 17 nach Erhalt der Nulldurchgangspulse 16 verzögert, entspricht dem Zündwinkel α , welcher der Auslöseeinheit 13 über eine Signalleitung 18 zugeführt wird. Durch Veränderung des Zündwin-

kelparameters α über die Signalleitung 18 ist somit eine Steuerung der Impedanz und daher die über die Hochspannungsleitung 9 übertragene Wirkleistung regelbar.

5 Figur 9 zeigt eine genauere Darstellung der Steuerungseinheit 4 der Vorrichtung 8 gemäß Figur 8 und insbesondere die Komponenten eines Zündwinkelgebers 19 zur Erzeugung eines zur Steuerung der Vorrichtung 8 geeigneten Zündwinkels α . Der Zündwinkelgeber 19 weist einen Echtstromgeber 20 sowie einen

10 Echtleistungsgeber 21 auf. Dabei ist der Echtstromgeber 20 mit dem Stromgeber 14 verbunden und zum Empfang der digitalen Stromwerte 19, die von dem Stromgeber wie zuvor beschrieben erzeugt werden, eingerichtet.

15 Der Echtleistungsgeber 21 ist sowohl mit dem Stromgeber 14 als auch mit einem Spannungsteiler 22 verbunden, dessen Ausgangssignal V_{Leit} proportional zu der Spannung in der Hochspannungsleitung 9 gegenüber Erdpotential ist. Die vom Spannungsteiler 22 abgegebenen analogen Signale werden vom Echtleistungsgeber 21 abgetastet und digitalisiert und mit den digitalen Stromwerten des Spannungsstandards 14 zu digitalen Leistungswerten, die einer durch die Hochspannungsleitung 9 übertragenen Leistungen entsprechen, umgerechnet.

20 25 Der Zündwinkelgeber 19 ist weiterhin über eine Sollstromleitung 23 sowie über eine Sollleistungsleitung 24 mit Stellparametern versorgbar, wobei die Stellparameter jeweils einer Abgleicheinheit 25 und 26 zugeführt werden. Die Sollstromleitung 23 oder die Sollleistungsleitungen 24 sind beispielsweise mit einem nicht gezeigten Rechner oder einer nicht gezeigten Leitstelle verbunden, womit ein Anwender in die Lage versetzt wird, der Steuerungseinheit 4 zweckmäßige Stellparameter zuzuführen. Die Abgleicheinheiten 25 und 26 sind jeweils

18

mit einem Proportional-Integral-Regler 27 und 28 verbunden, denen eine Auswahlseinheit 29 nachgeschaltet ist. Die Auswahl-
einheit 29 dient zur Auswahl der Messgröße, die durch Ver-
gleich mit einem Stellparameter überwacht und zur Regelung
5 der Vorrichtung 8 verwendet werden soll. Zur Auswahl des je-
weiligen Stellparameters ist die Auswahlseinheit 29 über eine
Auswahlleitung 30 beispielsweise mit dem Rechner oder der
Leitstelle verbunden.

10 Die Auswahlseinheit 29 ist ferner mit einer Sollzündwinkellei-
tung 31 verbunden. Durch zweckmäßige Einstellung der Auswahl-
einheit 29 über die Auswahlleitung 30 ist es daher möglich,
den Zündwinkelgeber direkt mit einem Sollzündwinkel zu ver-
sorgen, der dann zur Steuerung der Vorrichtung 8 einsetzbar
15 ist.

Ferner sind über weitere Steuerungsleitungen 32 zusätzliche
Steuerungssignale in den Zündwinkelgeber 19 von außen bei-
spielsweise über den Steuerungsrechner einsetzbar. Die zu-
20 sätzlichen Steuerungssignale 32 können zusätzlich zu den oben
beschriebenen Steuerungs- und Regelungsmaßnahmen zugeführt
und zur Steuerung verwendet werden. Zur Regelung dient bei-
spielsweise eine der Auswahlseinheit 29 nachgeschaltete Ab-
gleicheinheit 33. Weitere Steuerungssignale in diesem Sinne
25 sind beispielsweise bekannte Steuerungsgrößen zur Steigerung
der transienten Stabilität des Energieversorgungsnetzwerkes.
Darüber hinaus ist der Einsatz der Vorrichtung 8 zum Dämpfen
subsynchroner Resonanzen vorstellbar.

30 An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in den Figuren
8 und 9 die Steuerung lediglich schematisch gezeigt und übli-
cherweise vom Fachmann eingesetzte Begrenzer, Signalfilter

19

und dergleichen zwar nicht ausdrücklich erwähnt jedoch im Rahmen der Erfindung einsetzbar sind.

Das Ausgangssignal S_{IN} der Abgleicheinheit 33 wird einer Linearisierungseinheit 34 zugeführt, die zur Kompensation eines nicht linearen Verhaltens der Impedanz der Vorrichtung 8 bezüglich des besagten Ausgangssignals S_{IN} vorgesehen ist.

Die Figuren 10 und 11 verdeutlichen die Wirkungsweise der Linearisierungseinheit 34. In Figur 10 ist auf der Ordinate das Ausgangssignal α der Linearisierungseinheit 34 in Abhängigkeit des Ausgangssignals der Auswahleinheit 29 bzw. der Abgleicheinheit 33 also des Eingangssignals S_{IN} der Linearisierungseinheit 34 aufgetragen. Es ist erkennbar, dass zwischen diesen Signalen ein nicht linearer Zusammenhang besteht. In Figur 11 ist auf der Ordinate zwischen 0 und 1 die auf den Maximalwert X_{MAX} normierte Reaktanz der Vorrichtung 8 X_{SUM} in Abhängigkeit des Eingangssignals S_{IN} der Linearisierungseinheit 34 also des Ausgangssignals der Auswahleinheit 29 dargestellt. Es wird erkennbar, dass durch die Linearisierungseinheit 34 die gewünschte Proportionalität zwischen diesen beiden Größen hergestellt wird.

Figur 12 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die zwei in Reihenschaltung angeordnete Regelspulen 2 aufweist, welche jeweils durch einen separaten Parallelzweig 5, überbrückbar sind. Dabei ist jeder Parallelzweig mit einer Schalteinrichtung 3 versehen, deren gegensinnig geschaltete Thyristoren 10 von einer gemeinsamen Steuereinheit 4 gesteuert sind. Die gemeinsame Steuerung zweier Schalteinrichtungen 3 ist in Figur 13 verdeutlicht. Es ist erkennbar, dass die Steuerungseinheit 4 nunmehr zwei Auslöseeinheiten 13a und 13b aufweist, die jeweils einer Schalt-

20

einrichtung 3a beziehungsweise 3b zugeordnet sind. Dabei werden Auslöseeinheiten 13a und 13b mit unterschiedlichen Zündwinkeln α_a und α_b versorgt. Hierzu wird das Ausgangssignal der Auswahleinheit 29 beziehungsweise der Abgleicheinheit 33 5 in zwei Signale aufgespalten und jeweils einer Linearisierungseinheit 34a, die mit der Auslöseeinheit 13a verbunden ist, sowie einer Linearisierungseinheit 34b zugeführt, die zum Ansprechen der Auslöseeinheit 13b vorgesehen ist.

10 Figur 15a zeigt die Kennlinie der Linearisierungseinheit 34a, wobei in Figur 15b die Kennlinie der Linearisierungseinheit 34b aufgetragen ist. Hierbei ist der von der jeweiligen Linearisierungseinheit 34a bzw. 34b abgegebene Zündwinkel α_a und α_b in Abhängigkeit des Ausgangssignals S_{IN} der Abgleicheinheit 33 15 aufgetragen.

Figur 14 zeigt eine Figur 7 entsprechende Darstellung der berechneten Amplituden der Grundschwingung sowie der höheren harmonischen Schwingungen der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung V_x normiert auf die an der Vorrichtung 8 insgesamt abfallende Gesamtspannung V_{SUM} in Abhängigkeit des Ausgangssignals S_{IN} der Abgleicheinheit 33 einer Steuerungseinheit 4 gemäß Figur 9. Es ist erkennbar, dass ein besonders vorteilhafter linearer Zusammenhang zwischen dem Ausgangssignal S_{IN} der Abgleicheinheit 33 und der Amplitude der Grundschwingung besteht.

In den Figuren 16 und 17 ist eine hiervon abweichende Konfiguration der Linearisierungseinheiten 34a und 34b gemäß Figur 30 13 gezeigt. Hierbei ist erkennbar, dass die erste Schalteinrichtung 3a, deren Schaltverhalten durch die Linearisierungseinheit 34a gesteuert ist, wie ein schneller Schalter betrieben ist. Bei normierten Ausgangssignalen S_{IN} der Abgleichein-

21

heit 33 unterhalb von 0,5 verbleibt die Schalteinrichtung 3a in einer Durchlassstellung, in der die gegensinnig geschalteten Thyristoren 10 der Schalteinrichtung 3 den Stromfluss durch den Parallelzweig 10a ermöglichen. Bei Ausgangssignalen 5 S_{IN} der Abgleicheinheit 33 größer als 0,5 wird die Schalteinrichtung 3a in eine Sperrstellung überführt, so dass ein Stromfluss über den Parallelzweig 5a unterbrochen ist. Durch diese Steuerung ist ein Figur 14 im Wesentlichen entsprechender Verlauf der Spannungsamplituden der Grundschwingungsan-10 teile erzielbar.

Gemäß einem abweichenden nicht gezeigten Ausführungsbeispiel wird die in Figur 12 mit 3a bezeichnete Schalteinrichtung nicht durch zwei gegensinnig geschaltete Thyristoren, sondern 15 durch einen mechanischen Schalter realisiert, der mit der Linearisierungseinheit 34a zusammenwirkt, deren Charakteristik der in Figur 16 gezeigten Charakteristik entspricht. Die Verwendung eines mechanischen Schalters statt der Thyristoren 10 bringt Kostenvorteile mit sich.

20 Ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 ist in Figur 18 gezeigt. Es ist erkennbar, dass die mit einer gestrichelten Linie umgebene erfindungsgemäße Vorrichtung 8 aus einer mit einer weiteren gestrichelten Linie umgebenen induktiven Einheit 35 sowie aus einer mit einer gestrichelten Linie umgebenen kapazitiven Einheit 36 besteht, 25 die durch mechanische Schalter 37 in Reihe zueinander schaltbar sind. Die induktive Einheit 35 entspricht weitestgehend dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel der erfindungs-gemäßen Vorrichtung, wobei jedoch ein Überbrückungszweig 38 zum Überbrücken der induktiven Einheit 35 vorgesehen ist. Die 30 kapazitive Einheit 36 ist ebenfalls mittels eines Überbrückungszweiges 38 überbrückbar.

Die kapazitive Einheit 36 besteht weiterhin aus einem Kondensator 40 sowie einem Parallelzweig 41, in dem ein mechanischer Schalter 42 angeordnet ist. In Parallelschaltung zum
5 Kondensator 40 sowie zum Schalter 42 ist ferner ein Varistor 43 sowie eine Funkentladungsstrecke 44 vorgesehen. Die kapazitive Einheit 36 entspricht somit einer als solchen vorbekannten Lösungen zur Kompensation der Impedanz einer Hochspannungsleitung 9 mit der Ausnahme, dass der Schalter 42 zur
10 Überbrückung des Kondensators 40 durch dieselbe Steuerungseinheit 4 geöffnet bzw. geschlossen wird, die auch zur Steuerung der Schalteinrichtung 3 der induktiven Einheit 35 dient. Durch diese Reihenschaltungen von induktiver Einheit 35 und kapazitiver Einheit 36 ist die Regelungsbreite der Vorrichtung 8 erhöht.
15

Figur 19 zeigt ein dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 18 weitgehend entsprechendes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8. In dem in Figur 19 gezeigten Ausführungsbeispiel spricht die Steuereinheit 4 in der induktiven Einheit 36 jedoch eine Schalteinrichtung 3 an, die in Reihe zu einer Regelspule 2 angeordnet ist. Dabei ist die Schalteinrichtung 3 wieder durch zwei gegensinnig geschaltete Thyristoren 10 realisiert. Durch das Zünden der Thyristoren 10 wird die Reaktanz der Regelspule 2 der Vorrichtung zugeschaltet.
20
25

Auch die in Figur 19 gezeigte kapazitive Einheit 36 entspricht einer als solchen vorbekannten Vorrichtungen, die jedoch hier durch die gezeigte Kombination zur Erweiterung des Anwendungsbereichs der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 und gleichzeitig zur Steuerung der Impedanz der Hochspannungsleitung 9 dient.
30

Figur 20 zeigt schematisch die Steuerungseinheit 4 der Vorrichtung 8 gemäß Figur 19. Es ist erkennbar, dass auch hier zwei Auslöseeinheiten 13a und 13b vorgesehen sind, die jeweils mit einer Schalteinrichtung 3a und 3b verbunden sind. Die Auslöseeinheiten 13a und 13b stehen wiederum jeweils in Verbindung mit einer zugeordneten Linearisierungseinheit 34a und 34b, die jeweils mit einer unterschiedlichen jedoch zweckmäßigen Charakteristik belegt sind.

10

Ein Beispiel dieser Belegung ist in den Figuren 21, 22 und 23 zum Erhalt einer kontinuierlichen und bezüglich S_{IN} linearen Funktionsweise der Vorrichtung 8 gezeigt. Hierbei wurde von einer symmetrischen Reaktanz der Vorrichtung 8 ausgegangen, wobei auf der Abszisse abgetragene positive Werte für induktive, negative Abszissen-Werte hingegen für kapazitive Reaktanzen stehen. Figur 21 zeigt die Reaktanz der kapazitiven Einheit 36 X_{ASC} in Abhängigkeit des Ausgangssignals S_{IN} der Abgleicheinheit 33. Figur 22 zeigt die Reaktanz der induktiven Einheit 35 X_{TRIC} in Abhängigkeit des Ausgangssignals S_{IN} der Abgleicheinheit 33. Die sich ergebende Reaktanz X_{SUM} der Vorrichtung 8, die sich aus Gesamtreaktanz der in Reihe geschalteten induktiven Einheit 35 und kapazitiven Einheit 36 zusammensetzt, ist in Figur 23 in Abhängigkeit des Ausgangssignals S_{IN} der Abgleicheinheit 33 dargestellt. Es ist ein linearer Zusammenhang erkennbar.

Figur 24 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfundungsgemäßen Vorrichtung 8 mit einer induktiven Einheit 35 sowie kapazitiven Einheit 36, die in Reihe schaltbar sind, wobei dieser Reihenschaltung eine Filtereinheit 45 parallel geschaltet ist. Die Filtereinheit 45 stellt einen sogenannten einfach abgestimmten Filter dar, der beispielsweise zur Zün-

24

dung einer bestimmten harmonischen Schwingungskomponente der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung eingerichtet ist.

Es sei abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass eine

5 Filtereinheit 45 in Parallelschaltung erfindungsgemäß zur Vorrichtung 8 nur dann möglich ist, wenn neben einer induktiven Einheit 35 auch eine kapazitive Einheit 36 vorgesehen ist. Bei einem hiervon abweichenden Ausführungsbeispiel ist 10 eine nicht regelbare induktive Einheit, also eine Spule, anstelle der kapazitiven Einheit 36 in Reihenschaltung zur Regelspule 2 zu diesem Zweck, also zum Anschluss der Filtereinheit 45, vorgesehen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (8) zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden aus mehreren Phasen bestehenden Hochspannungsleitung (9) mit wenigstens einer in Reihenschaltung in die Hochspannungsleitung (9) einfügaren

5 Regelspule (2) und mit wenigstens einer jeweils einer Regelspule (2) zugeordneten Schalteinrichtung (3), wobei eine Steuerungseinheit (4) zum Steuern jeder Schalteinrichtung (3) auf einer Weise vorgesehen ist, dass durch das Schalten der Schalteinrichtung (3) die in der Vorrichtung (8) wirkende Reaktanz der Regelspule (2) einstellbar ist,

10 dadurch gekennzeichnet, dass jede Schalteinrichtung (3) parallel zu der ihr zugeordneten Regelspule (2) in einem Parallelzweig (5) angeordnet ist.

15 2. Vorrichtung (8) nach Anspruch 1,

20 dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Schalteinrichtung (3) aus gegensinnig geschalteten Thyristoren (10) besteht.

25 3. Vorrichtung (8) nach Anspruch 1 oder 2,

30 dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerungseinheit (4) eine mit Stromgebern (14) verbundene Nulldurchgangseinheit (12) zum Nachweis eines Nulldurchgangs des Wechselstroms und wenigstens eine mit einem Zündwinkelgeber (19) verbundene Auslöseeinheit (13,13a,13b) aufweist.

4. Vorrichtung (8) nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

26

der Zündwinkelgeber (19) mit einem Stromgeber (14) zum Messen des Wechselstroms und mit einem Spannungsgeber (22) zum Messen der Spannung der Hochspannungsleitung (9) gegenüber dem Erdpotential oder der Spannungen zwischen den Phasen verbunden ist, wobei die Steuerungseinheit (4) über ein Festspeicherelement verfügt, das zur Aufnahme von Stellparametern vorgesehen ist, wobei wenigstens eine Abgleicheinheit (25,26,33) zum Feststellen von Abweichungen zwischen den Stellparametern und den Messwerten des Strom- (14) und/oder des Spannungsgebers (22) oder zwischen den Stellparametern und aus den Messwerten des Strom- und/oder Spannungsgebers berechneten Messgrößen vorgesehen ist.

15 5. Vorrichtung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwei in Reihe angeordnete Regelspulen (2) vorgesehen sind, die jeweils eine in dem zugeordneten Parallelzweig (5) angeordnete Schalteinrichtung (3) in einer Parallelschaltung zu sich aufweisen.

6. Vorrichtung (8) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerungseinheit (4) zwei Auslöseeinheiten (13a,13b) aufweist, die jeweils mit einer Schalteinrichtung (3a,3b) zusammenwirken.

7. Vorrichtung (8) nach Anspruch 5 oder 6. dadurch gekennzeichnet, dass eine der Schalteinrichtungen (3b) gegensinnig geschaltete Thyristoren aufweist, wobei die andere Schalteinrichtung (3a) ein mechanischer Schalter ist.

8. Vorrichtung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen in Reihe zur Regelspule (2) geschalteten Kondensator (40), der mittels einer parallel zum Kondensator

5 (40) in einem Kondensatorparallelzweig (41) angeordneten Kondensatorschalteinheit (42) überbrückbar ist.

9. Vorrichtung (8) nach Anspruch 8,

10 dadurch gekennzeichnet, dass in dem Kondensatorparallelzweig (41) eine Spule vorgesehen ist.

10. Vorrichtung (8) nach einem der Ansprüche 8 oder 9,

15 gekennzeichnet durch eine Filtereinheit (45), die parallel zu einem die Regelspule (2) und den Kondensator (40) in Reihenschaltung aufweisenden Reihenzweig angeordnet ist.

11. Verfahren zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom
20 führenden Hochspannungsleitung (9), bei dem durch Auslösen einer Schalteinrichtung (3,3a,3b), die parallel zu einer in Reihe in die Hochspannungsleitung einfügbaren Regelspule (2) in einem Parallelzweig (5) angeordnet ist, die Regelspule (2) in Abhängigkeit der Phase des
25 Wechselstroms überbrückt und auf diese Weise die Impedanz der Hochspannungsleitung (9) eingestellt wird.

12. Steuerungseinheit (4) zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden Hochspannungsleitung (9) mit einem Nulldurchgangsgeber (12) zum Erzeugen eines Nulldurchgangssignals (16) bei Nachweis eines Nulldurchgangs des Wechselstroms und wenigstens einer Auslöseeinheit (13, 13a, 13b), die mit dem Phasenmesser sowie mit einem

28

Zündwinkelgeber (19) zum Bereitstellen eines Zündwinkels für die Auslöseeinheit verbunden ist und die bei Erhalt eines Nulldurchgangssignals nach einer dem Zündsignal entsprechenden Verzögerungszeit ein Auslöseseignal erzeugt, das zum Regeln der Impedanz der Hochspannungsleitung (9) durch Überbrücken einer in Reihe in die Hochspannungsleitung (9) eingefügten Regelspule (2) mittels einer Schalteinrichtung (3) dient.

10

FIG 1
(Stand der Technik)

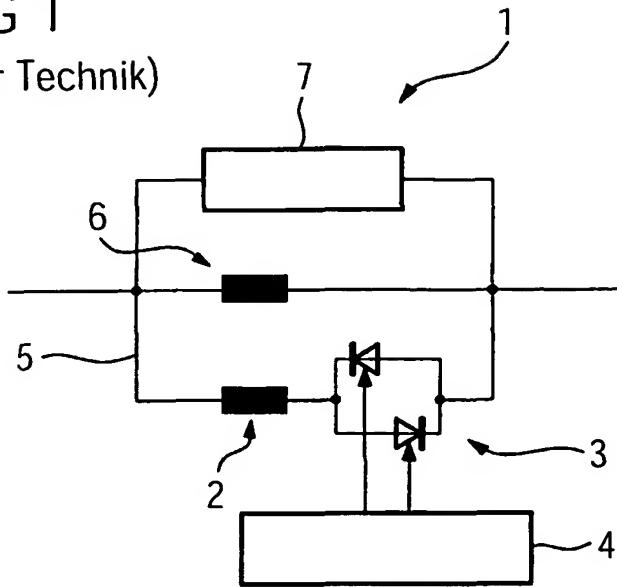


FIG 2

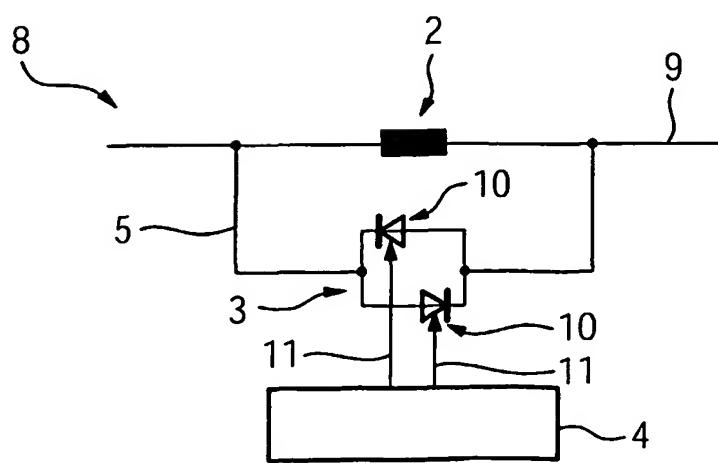


FIG 3a

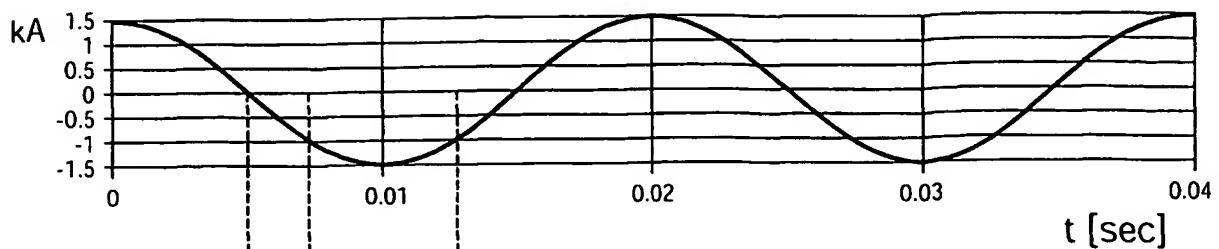


FIG 3b

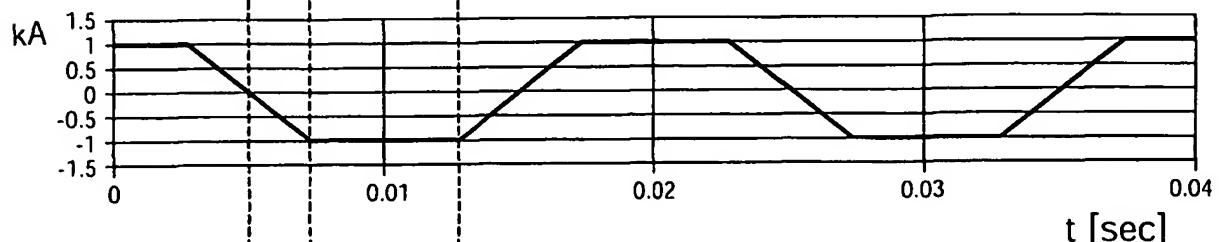


FIG 3c

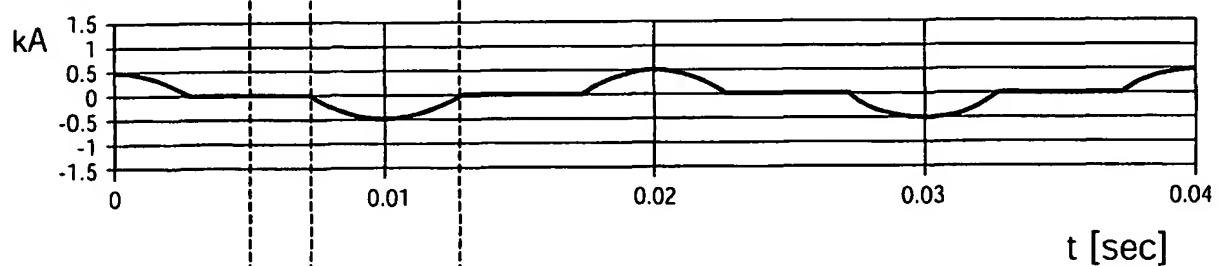


FIG 3d

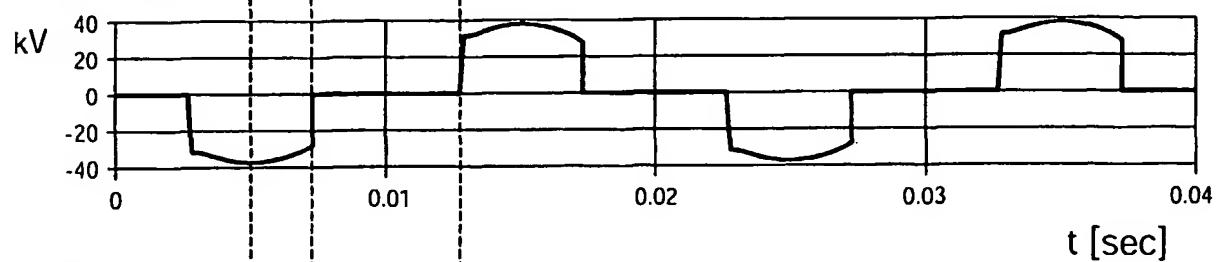


FIG 3e

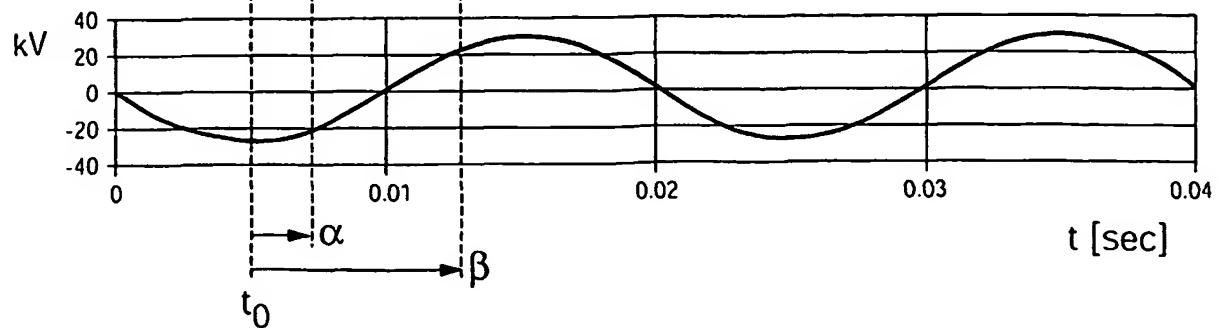


FIG 4

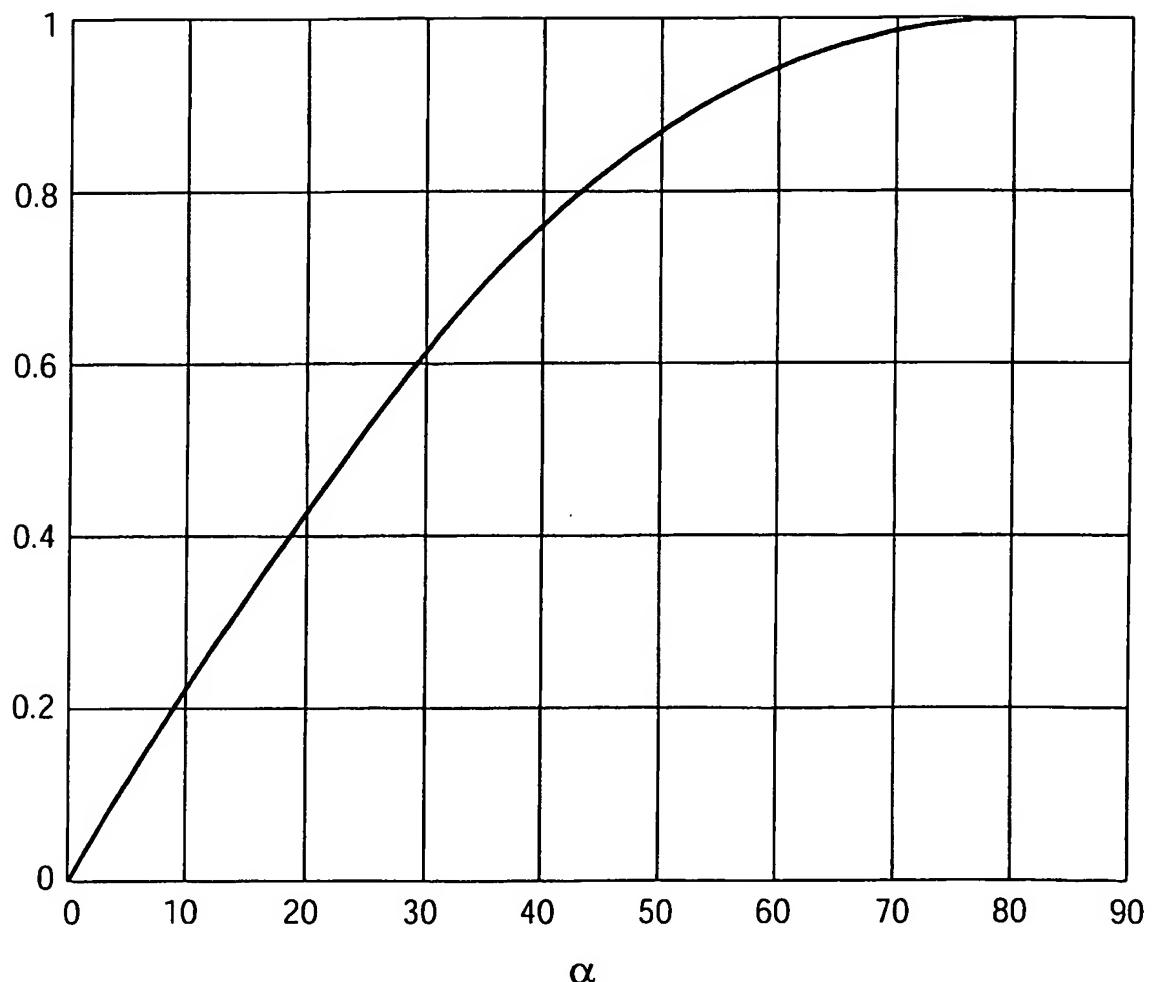
 $X_{\text{SUM}} / X_{\text{RSP}}$ 

FIG 5a

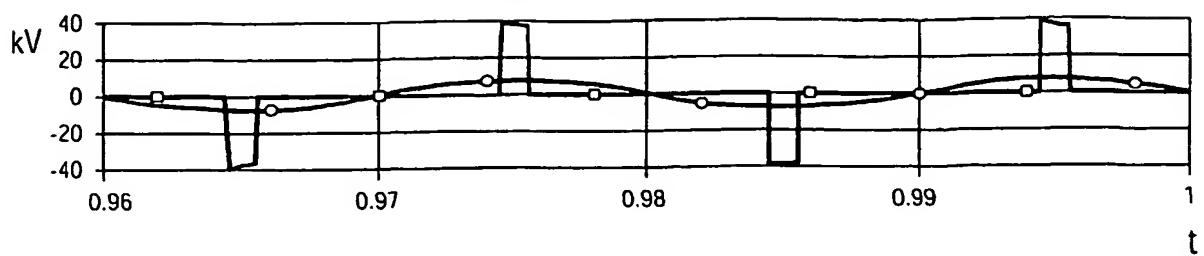
 $\square V_{SUM}$ $\circ V_G$ $\alpha = 10$ 

FIG 5b

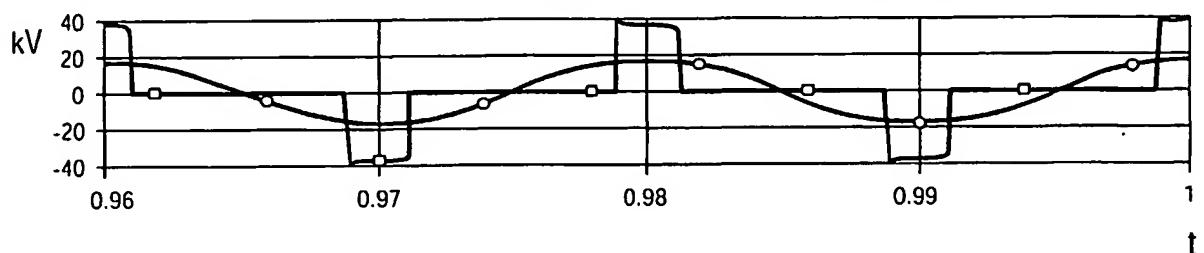
 $\square V_{SUM}$ $\circ V_G$ $\alpha = 20$ 

FIG 5c

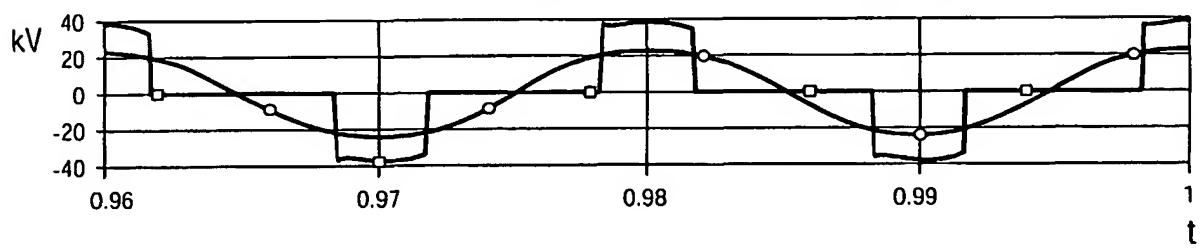
 $\square V_{SUM}$ $\circ V_G$ $\alpha = 30$ 

FIG 5d

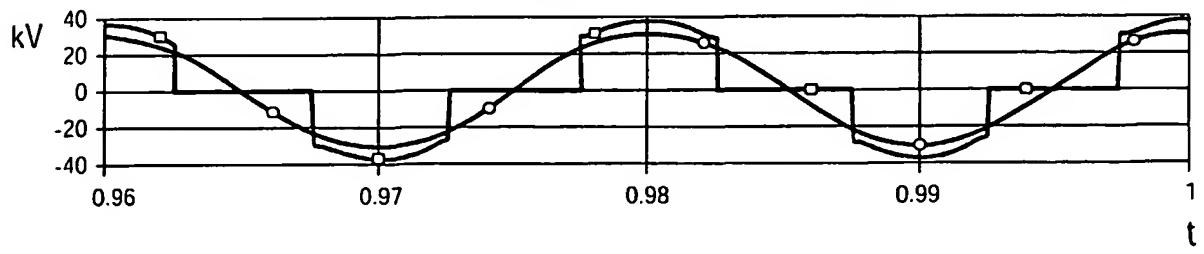
 $\square V_{SUM}$ $\circ V_G$ $\alpha = 45$ 

FIG 5e

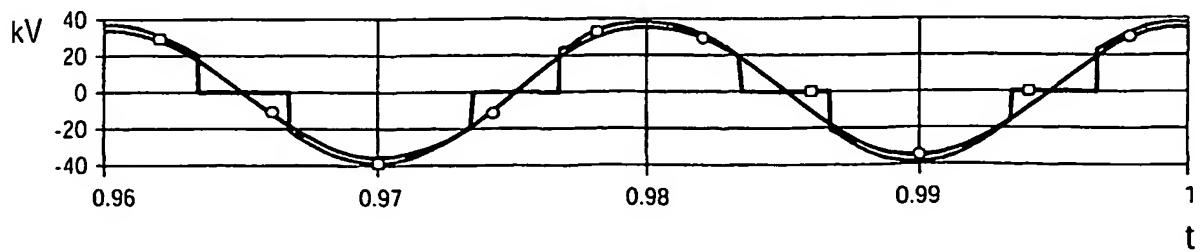
 $\square V_{SUM}$ $\circ V_G$ $\alpha = 60$ 

FIG 6a

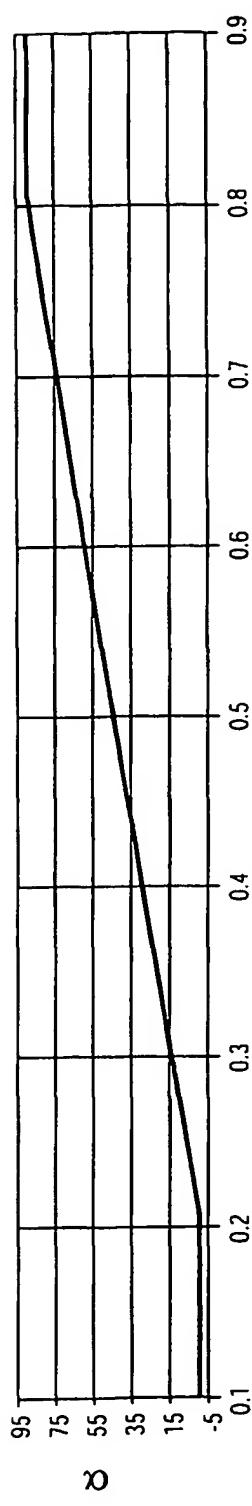


FIG 6b

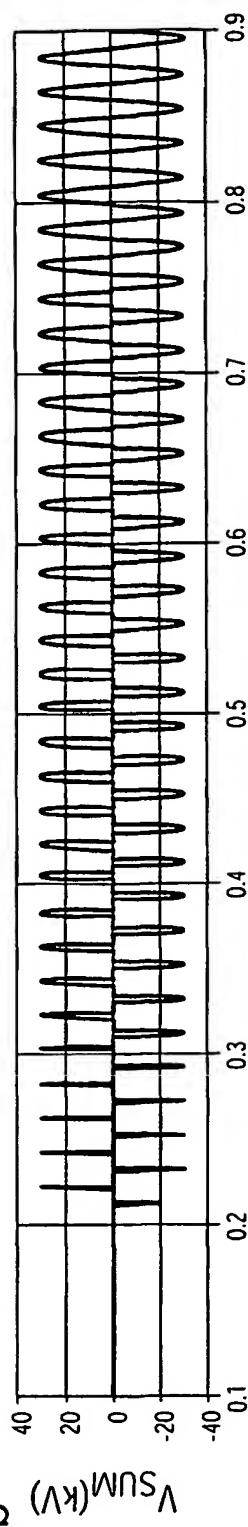


FIG 6c

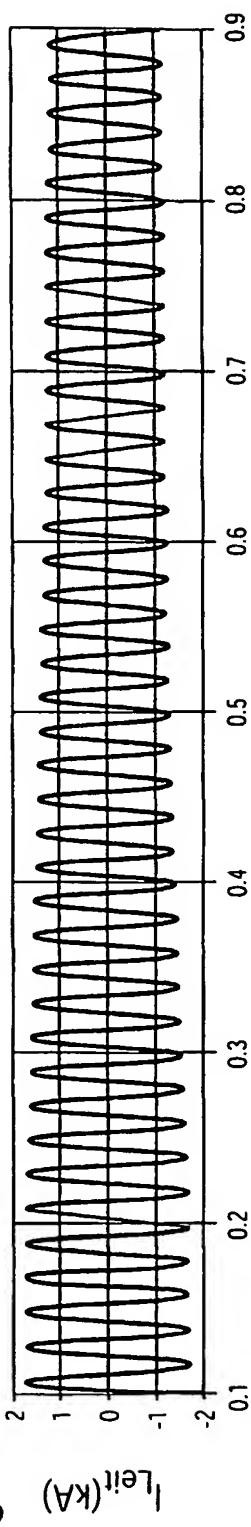
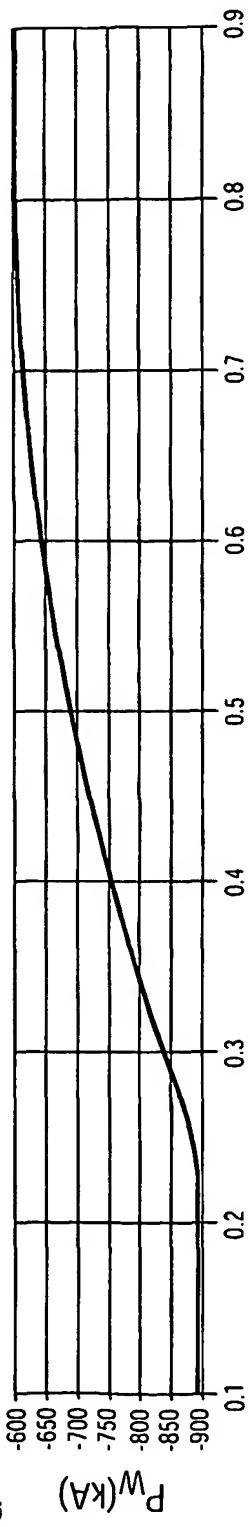


FIG 6d



6 / 16

FIG 7
 V_X / V_{SUM}

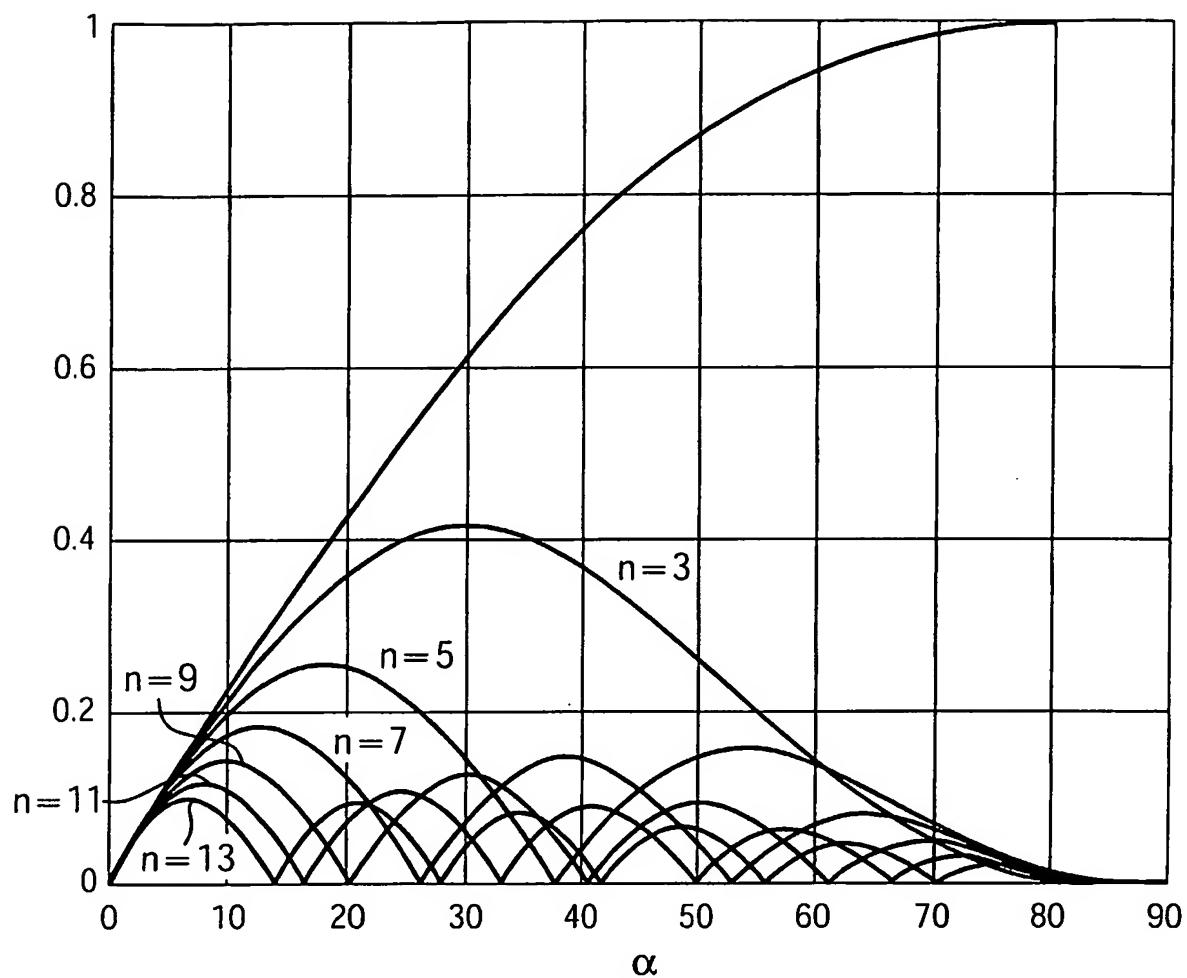
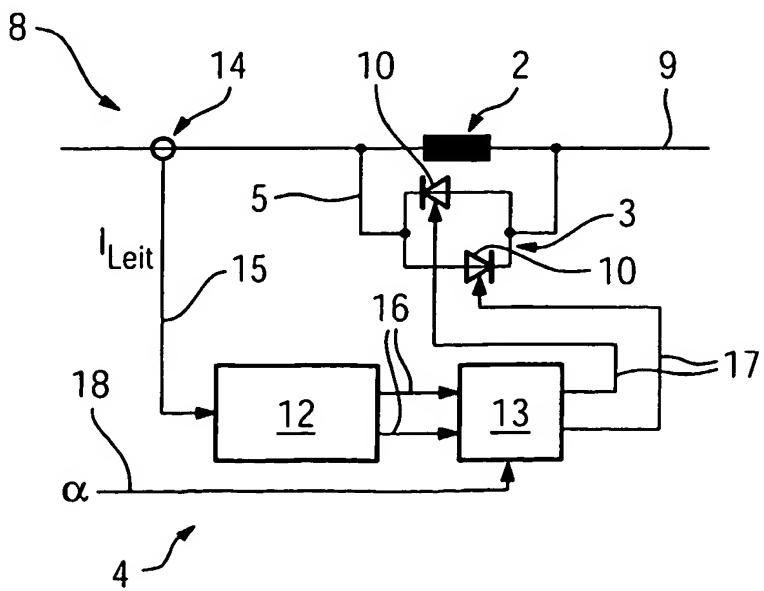
**FIG 8**

FIG 9

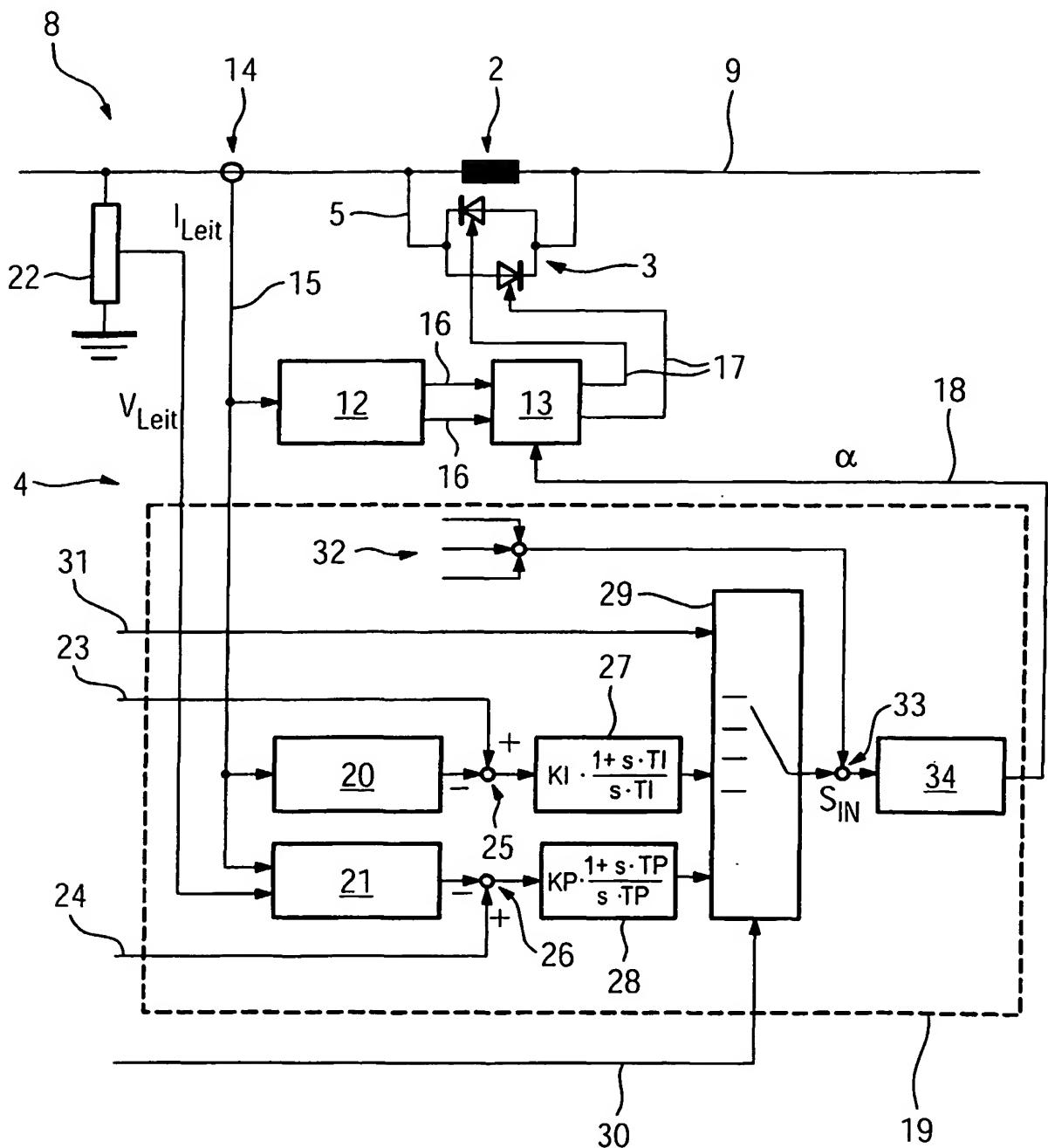


FIG 10

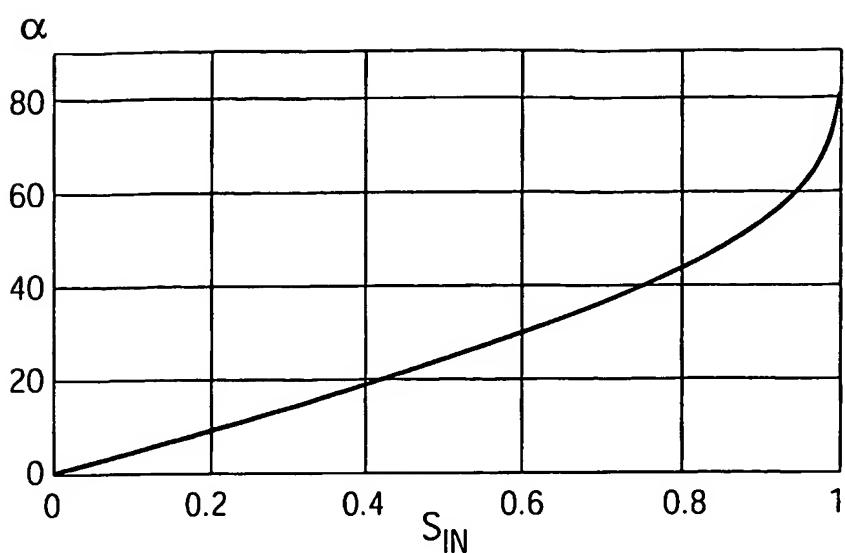


FIG 11

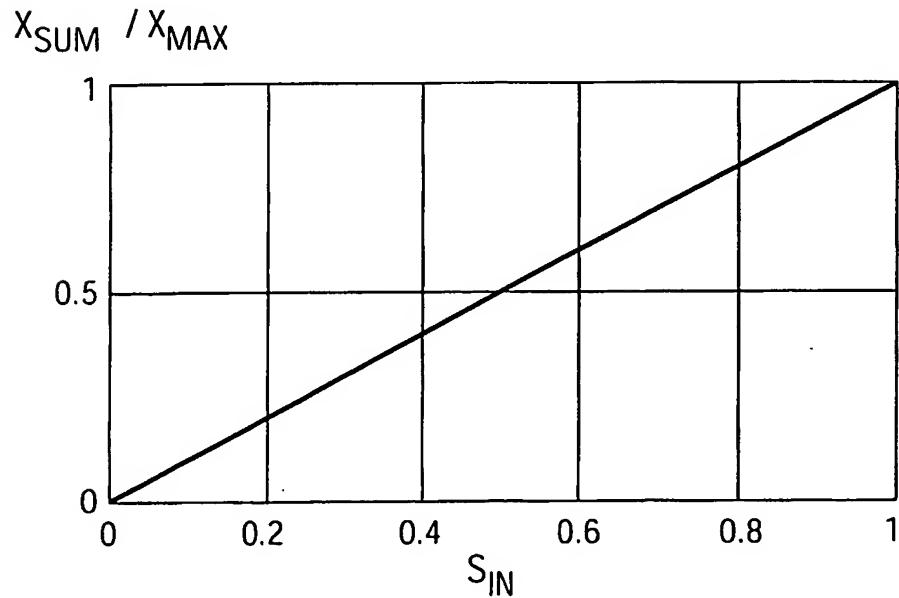


FIG 12

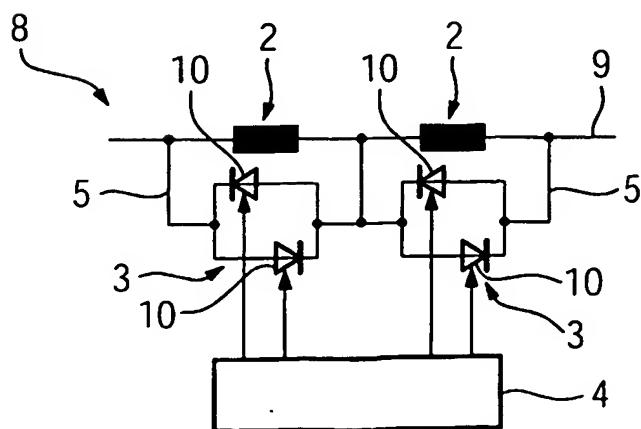


FIG 13

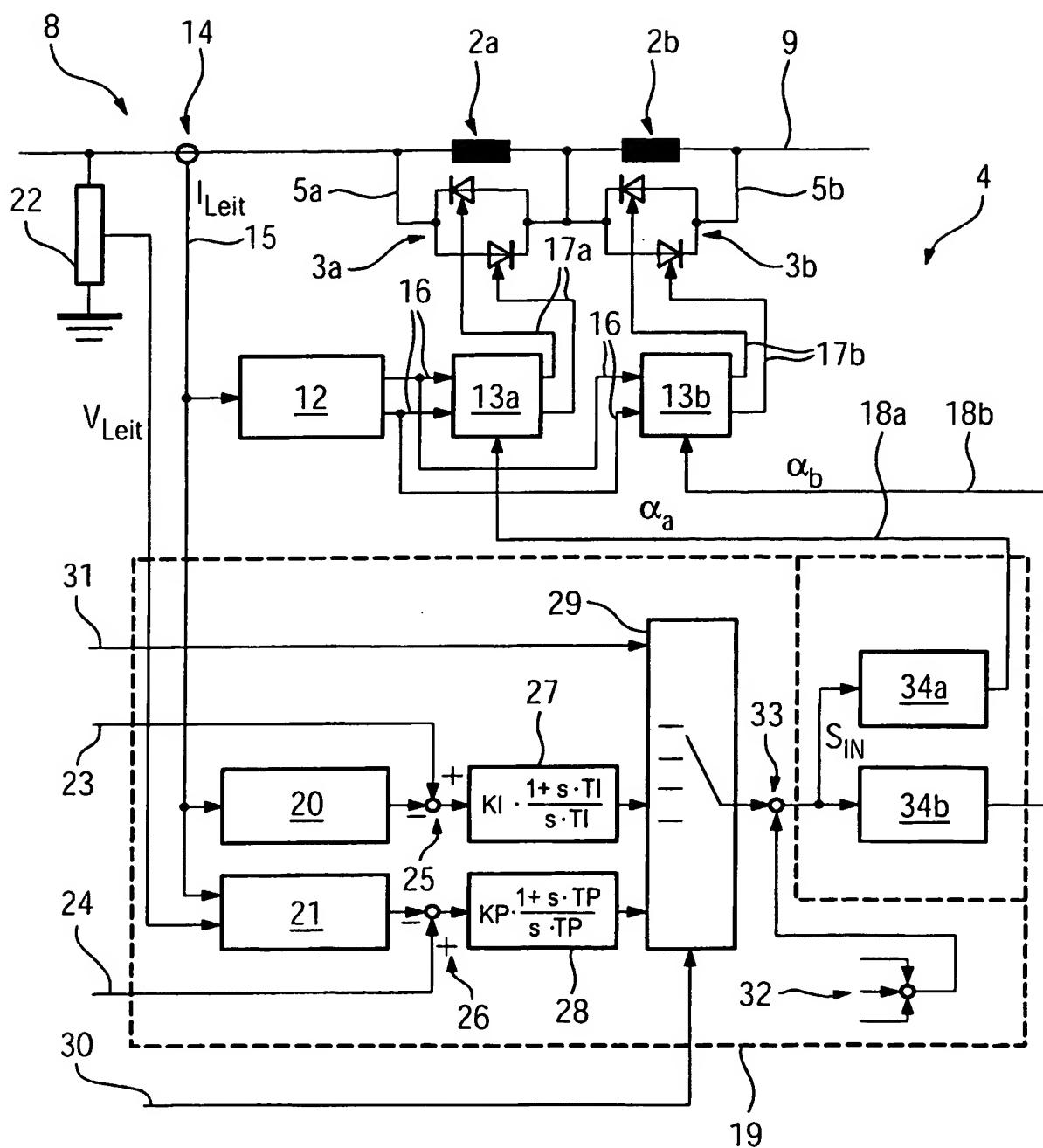


FIG 14

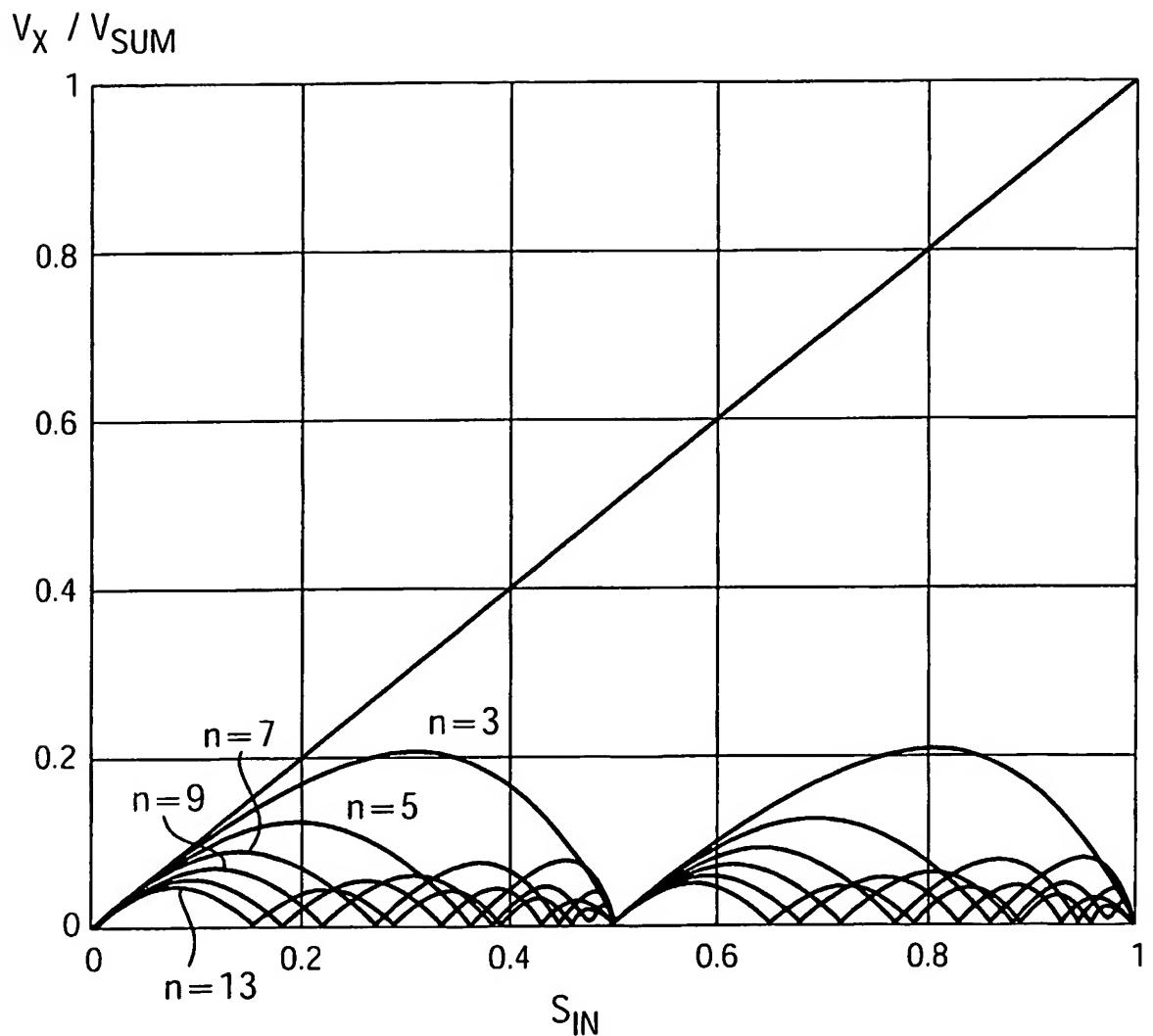


FIG 15a

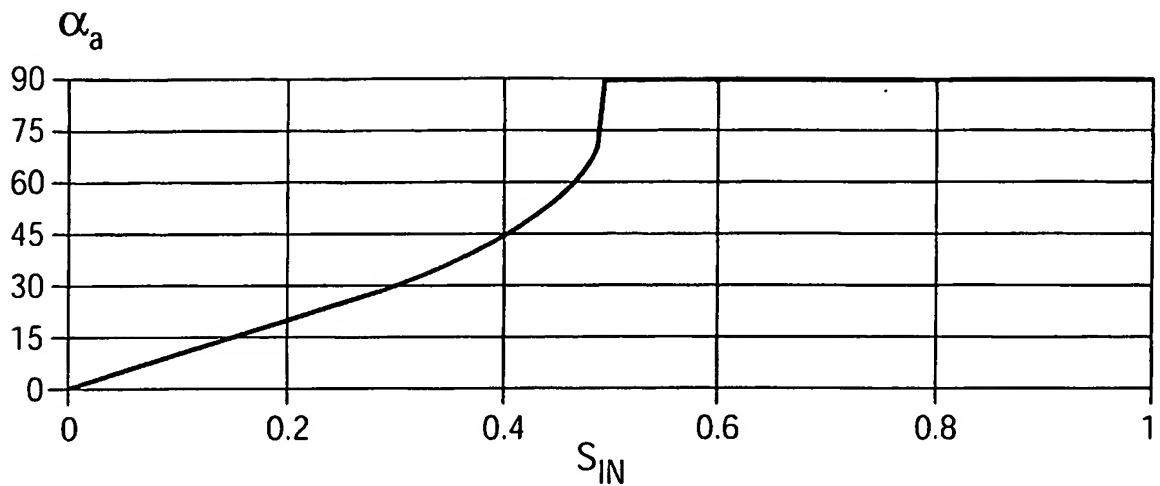


FIG 15b

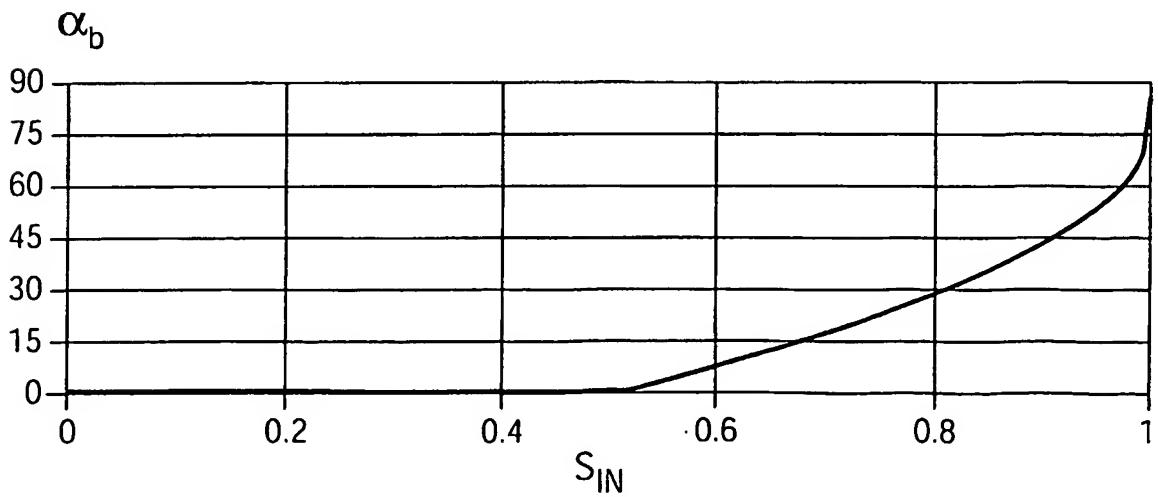


FIG 16

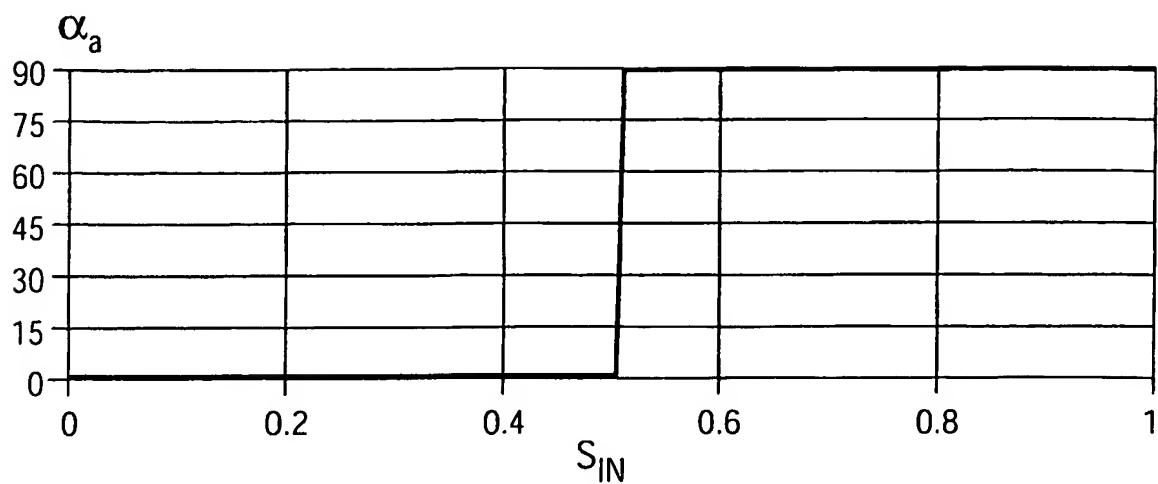


FIG 17

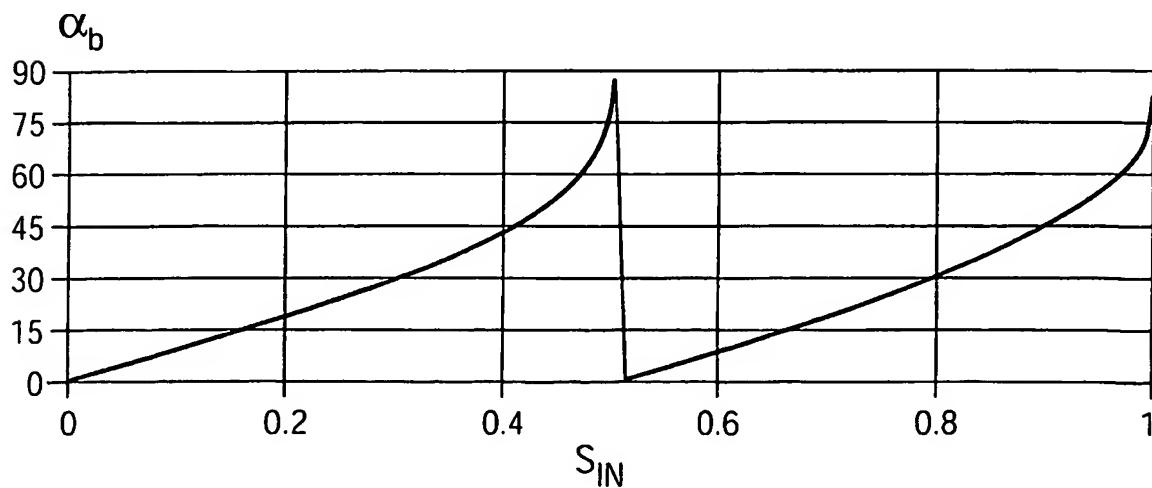


FIG 18

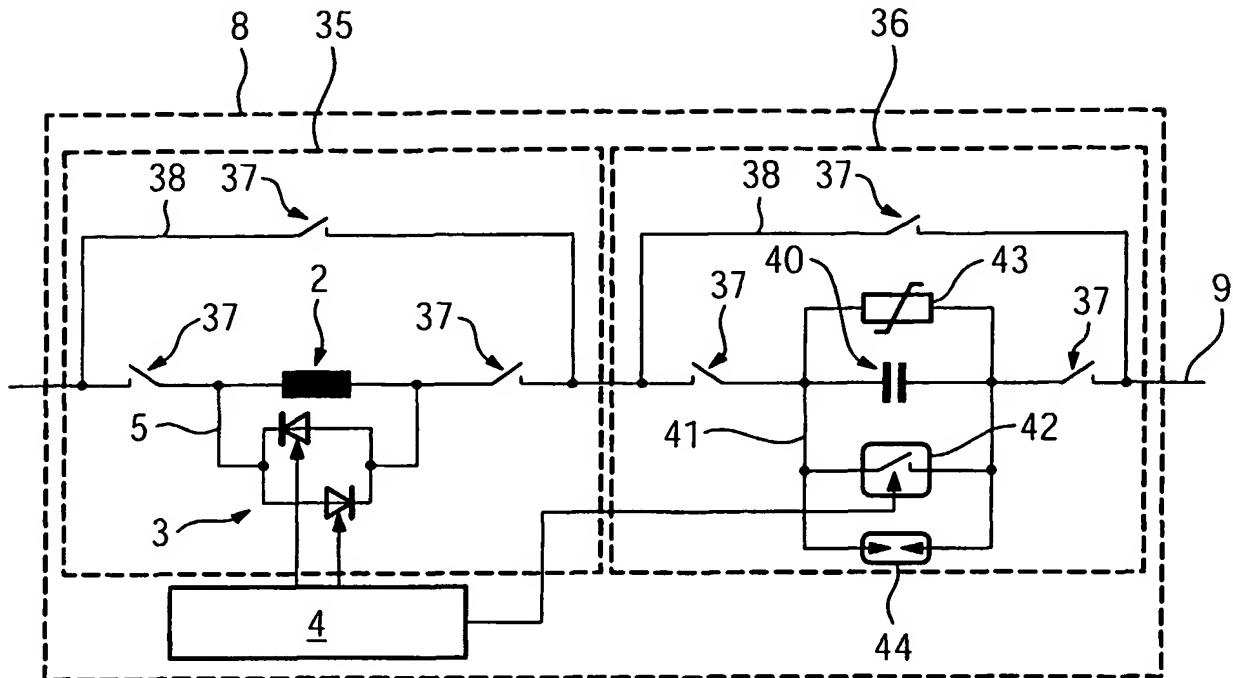


FIG 19

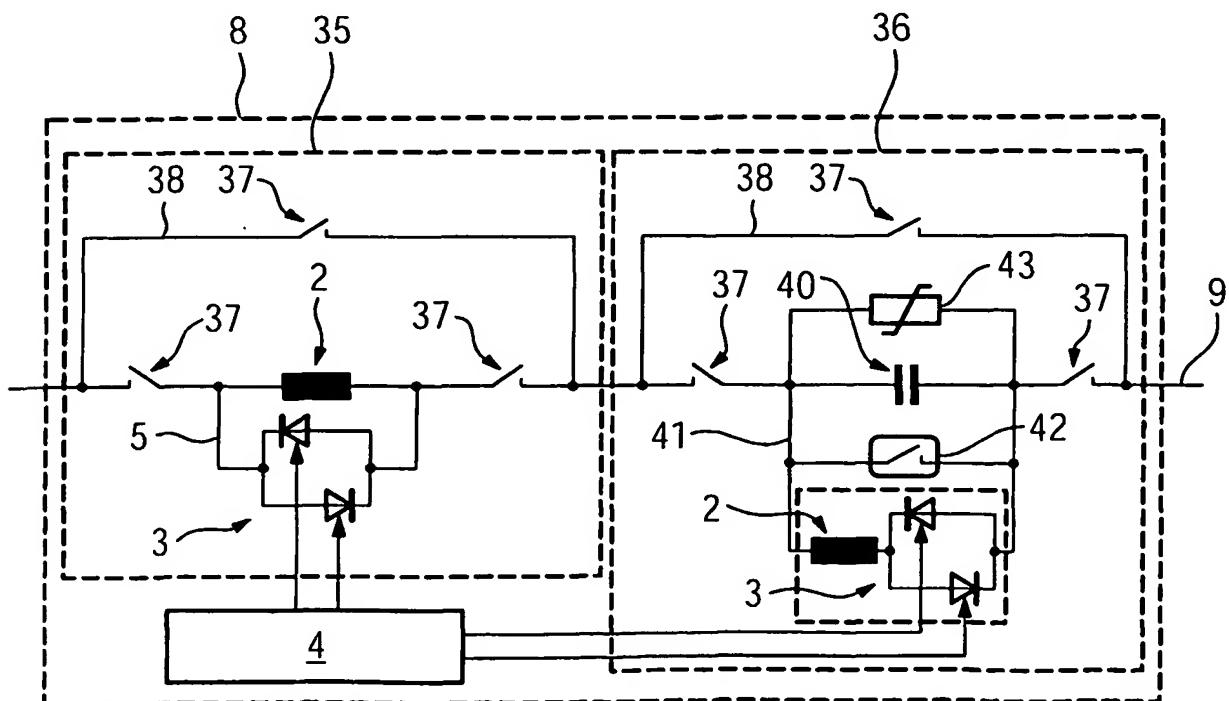


FIG 20

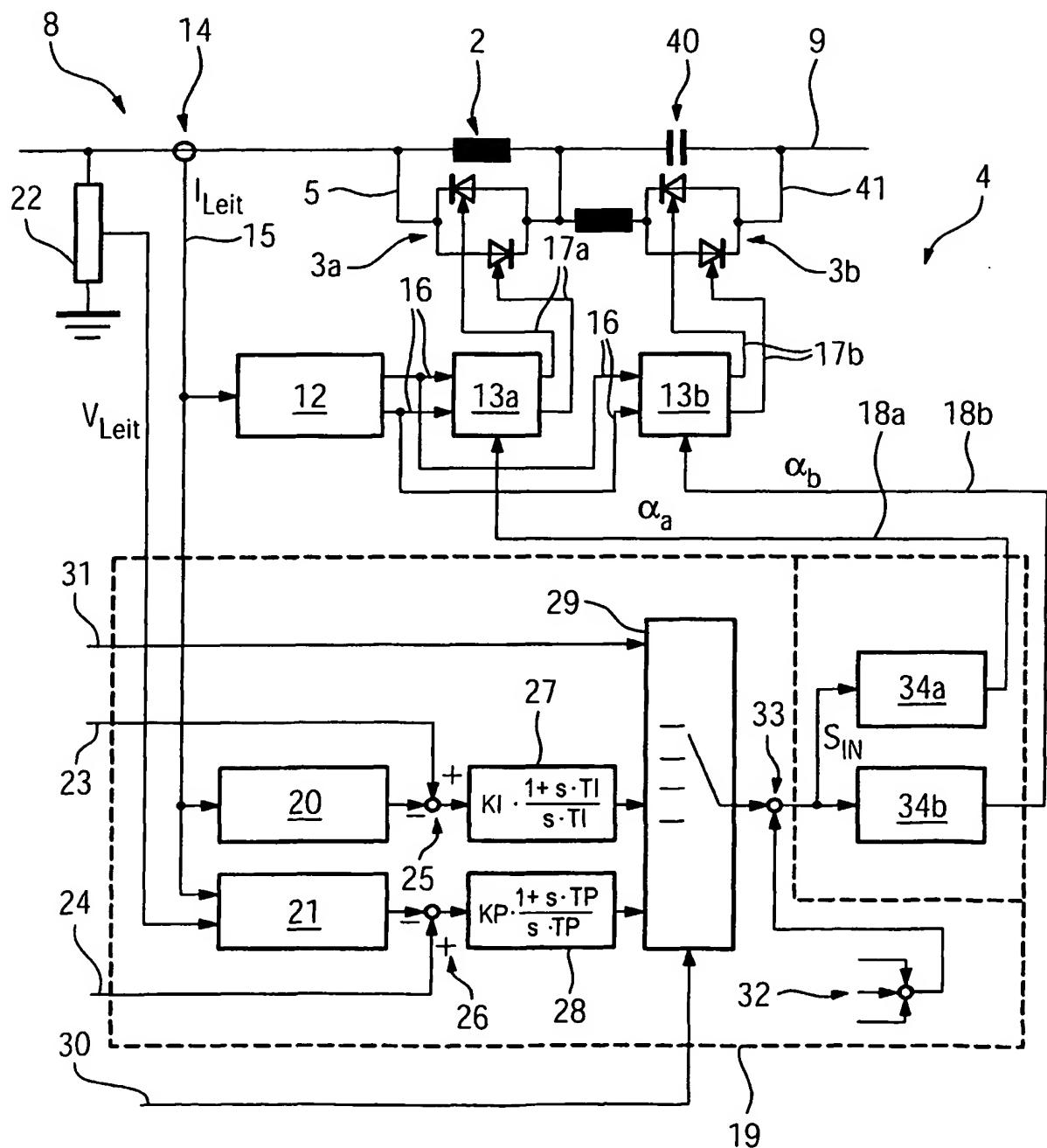


FIG 21

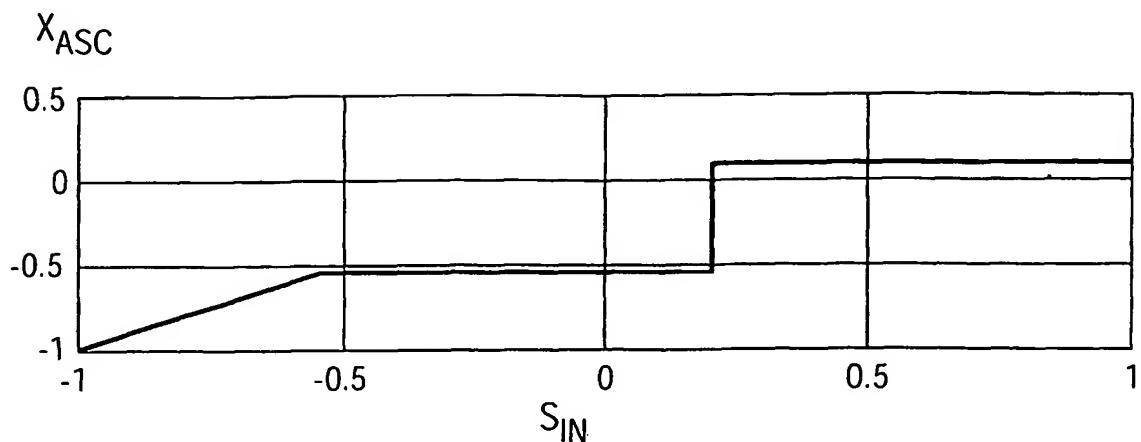


FIG 22

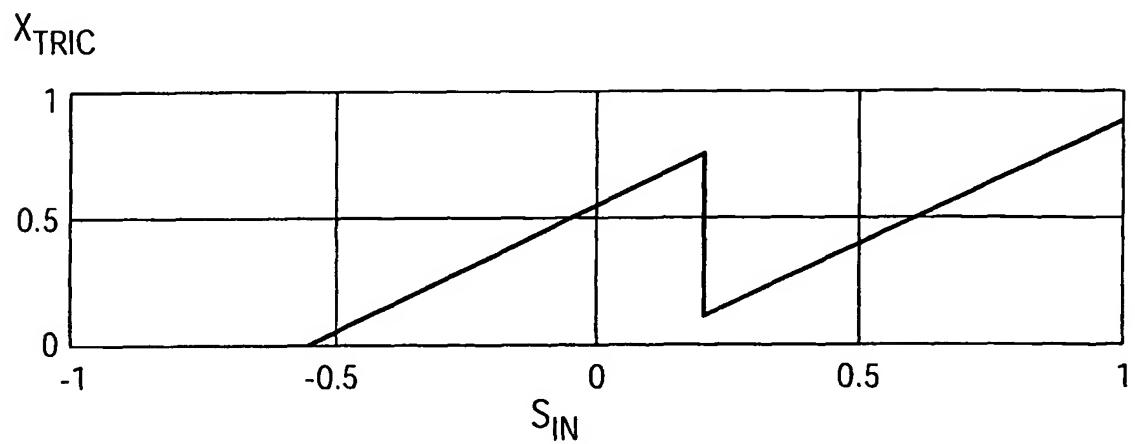


FIG 23

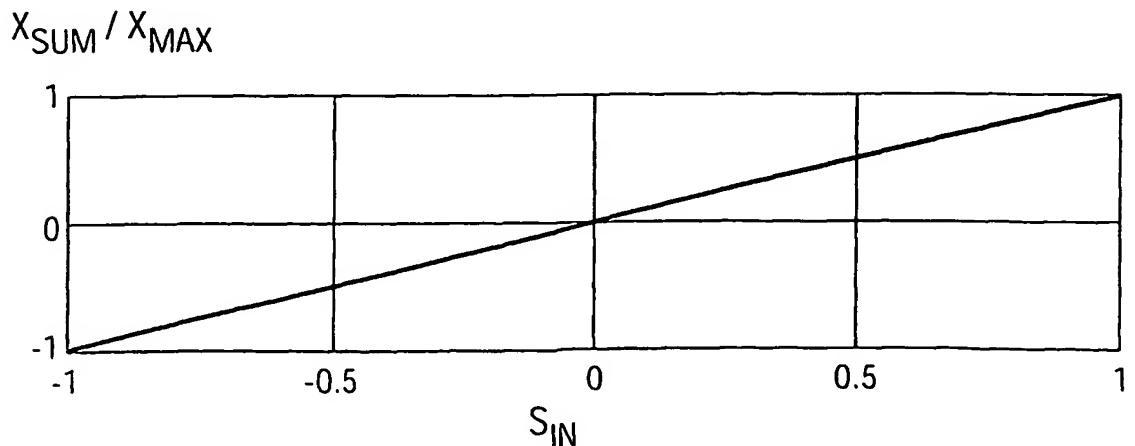
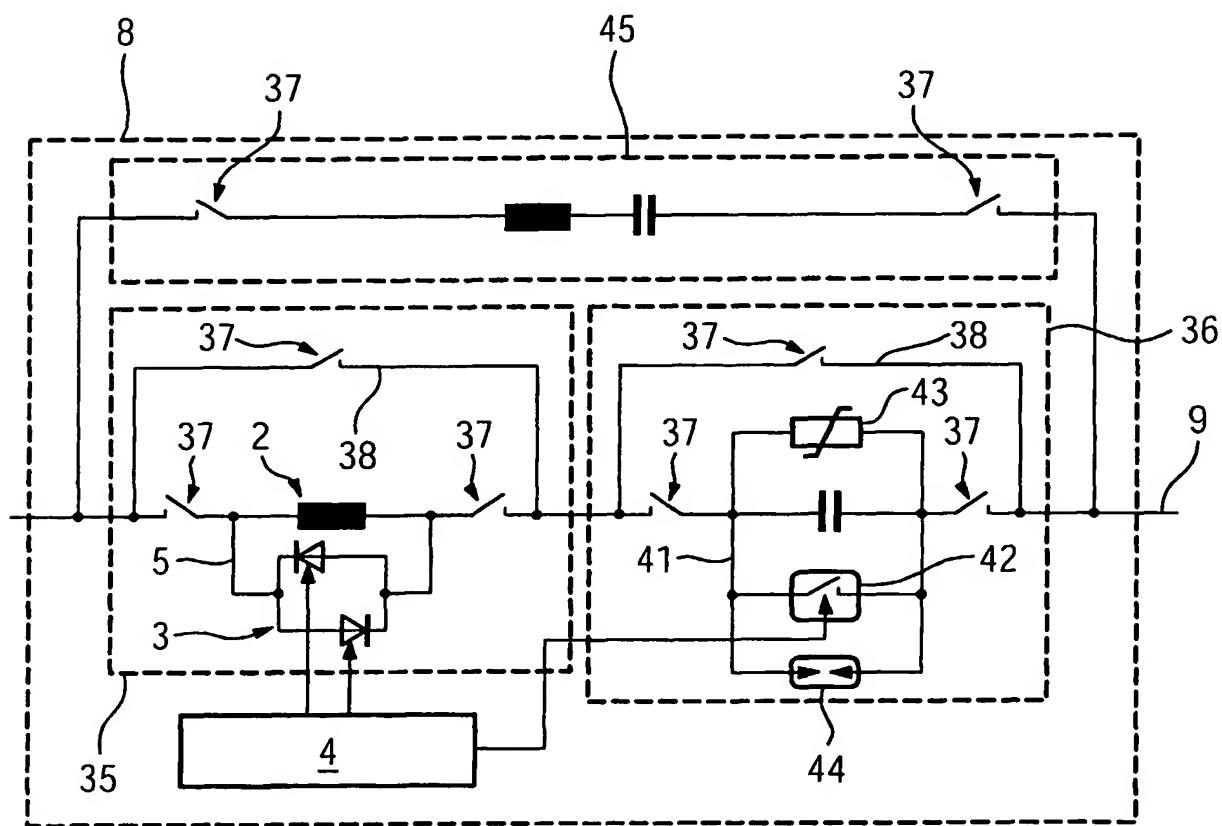


FIG 24



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2004/001972

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G05F1/455 H02J3/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G05F H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BAYER W ET AL: "DYNAMISCHE WIRK- UND BLINDELEISTUNGSFUHRUNG FUR HOHERE UBERTRAGUNGSLEISTUNG" ELEKTROTECHNISCHE ZEITSCHRIFT - ETZ, VDE VERLAG GMBH. BERLIN, DE, vol. 111, no. 10, 1 May 1990 (1990-05-01), pages 512-515, XP000127884 ISSN: 0948-7387 page 513; figure 3b ----- US 6 274 851 B1 (KOJORI HASSAN ALI ET AL) 14 August 2001 (2001-08-14) column 1, line 67 - column 2, line 26; figure 1 column 9, line 1 - column 9, line 38 ----- -/--	1-3,11, 12
X		1-3,11

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 January 2005

Date of mailing of the International search report

03/02/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Braccini, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2004/001972

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 951 126 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 20 October 1999 (1999-10-20) paragraph '0042!; figure 1a -----	1-12
A	DE 196 19 305 A (SIEMENS AG) 28 November 1996 (1996-11-28) the whole document -----	1-12
A	EP 0 258 314 B (VITHAYATHIL JOHN J) 8 September 1993 (1993-09-08) cited in the application the whole document -----	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/DE2004/001972

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 6274851	B1	14-08-2001	NONE			
EP 0951126	A	20-10-1999		EP 0951126 A1	20-10-1999	
				CN 1232310 A ,B	20-10-1999	
				JP 11299105 A	29-10-1999	
				US 6075349 A	13-06-2000	
DE 19619305	A	28-11-1996	DE	19619305 A1	28-11-1996	
EP 0258314	B	09-03-1988		US 5032738 A	16-07-1991	
				AT 94297 T	15-09-1993	
				AU 7026987 A	14-08-1987	
				BR 8705390 A	22-12-1987	
				CA 1312649 C	12-01-1993	
				DE 3787335 D1	14-10-1993	
				DE 3787335 T2	05-01-1994	
				EP 0258314 A1	09-03-1988	
				FI 874135 A	22-09-1987	
				IN 166749 A1	14-07-1990	
				NO 873937 A ,B,	23-11-1987	
				TR 23181 A	06-06-1989	
				WO 8704538 A1	30-07-1987	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2004/001972

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G05F1/455 H02J3/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G05F H02J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	BAYER W ET AL: "DYNAMISCHE WIRK- UND BLINDELISTUNGSFUHRUNG FÜR HOHERE UBERTRAGUNGSLEISTUNG" ELEKTROTECHNISCHE ZEITSCHRIFT - ETZ, VDE VERLAG GMBH. BERLIN, DE, Bd. 111, Nr. 10, 1. Mai 1990 (1990-05-01), Seiten 512-515, XP000127884 ISSN: 0948-7387 Seite 513; Abbildung 3b -----	1-3,11, 12
X	US 6 274 851 B1 (KOJORI HASSAN ALI ET AL) 14. August 2001 (2001-08-14) Spalte 1, Zeile 67 - Spalte 2, Zeile 26; Abbildung 1 Spalte 9, Zeile 1 - Spalte 9, Zeile 38 ----- -/-	1-3,11

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgelüftet)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts
27. Januar 2005	03/02/2005
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Braccini, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2004/001972

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 951 126 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 20. Oktober 1999 (1999-10-20) Absatz '0042!; Abbildung 1a -----	1-12
A	DE 196 19 305 A (SIEMENS AG) 28. November 1996 (1996-11-28) das ganze Dokument -----	1-12
A	EP 0 258 314 B (VITHAYATHIL JOHN J) 8. September 1993 (1993-09-08) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/001972

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6274851	B1	14-08-2001	KEINE		
EP 0951126	A	20-10-1999	EP 0951126 A1 CN 1232310 A ,B JP 11299105 A US 6075349 A	20-10-1999 20-10-1999 29-10-1999 13-06-2000	
DE 19619305	A	28-11-1996	DE 19619305 A1	28-11-1996	
EP 0258314	B	09-03-1988	US 5032738 A AT 94297 T AU 7026987 A BR 8705390 A CA 1312649 C DE 3787335 D1 DE 3787335 T2 EP 0258314 A1 FI 874135 A IN 166749 A1 NO 873937 A ,B, TR 23181 A WO 8704538 A1	16-07-1991 15-09-1993 14-08-1987 22-12-1987 12-01-1993 14-10-1993 05-01-1994 09-03-1988 22-09-1987 14-07-1990 23-11-1987 06-06-1989 30-07-1987	